

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA Y SISTEMAS
DE TELECOMUNICACIÓN**



**Máster en Ingeniería Acústica
de la Edificación y Medio Ambiente**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Evaluación subjetiva de la diferenciación entre las respuestas
impulsivas medidas y simuladas en diferentes recintos**

Autor:

Jose Ignacio Ortiz Mora

Tutor:

Antonio Pedrero González

Julio de 2014

Máster en Ingeniería Acústica de la Edificación y Medio Ambiente

Trabajo Fin de Máster		
Título	Evaluación subjetiva de la diferenciación entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas en diferentes recintos	
Autor	Jose Ignacio Ortiz Mora	VºBº
Tutor	Antonio Pedrero González	
Ponente		
Tribunal		
Presidente	Constantino Gil González	
Secretario	José Luis Sánchez Bote	
Vocal	Juan José Gómez Alfageme	
Fecha de lectura	07-07-2014	
Calificación		

El Secretario:

Índice

Índice	i
Índice de figuras	v
Índice de tablas	ix
Resumen	xiv
Summary	xv
1 Introducción	2
1.1. Introducción.	3
1.2. Objeto del Proyecto.	3
2 Estado del arte	5
2.1. Introducción.	6
2.2. Recomendación ITU-R-BS 1116-1 (1997)	10
Diseño del experimento	10
Selección de los oyentes	10
Número de oyentes	11
Método de prueba	11
Material de programa	14
Dispositivos de reproducción	14
2.3. Trabajo de investigación de Lokki (2002)	15
2.4. Trabajo de investigación de Larsson, Västfjäll y Kleiner (2003)	20
2.5. Trabajo de investigación de Wang y Vigeant (2006)	22
2.6. Trabajo de investigación de Zielinski y Rumsey (2008)	23

2.7. Trabajo de investigación de Paul (2008)	26
2.8. Estudio de Martellota (2010)	27
2.9. Trabajo de investigación de Malecki, Wiciak y Wierzbicki (2012)	30
3 Base teórica	31
3.1. Parámetros acústicos asociados a aspectos subjetivos de los oyentes	32
3.1.1. Tiempo de reverberación	33
3.1.2. Fuerza sonora (G)	34
3.1.3. Early Decay Time (EDT)	35
3.1.4. Relaciones entre energía precoz y la energía tardía	35
3.1.5. Mediciones de la energía lateral precoz	37
3.1.6. Mediciones de la energía lateral tardía	38
3.2. JND	39
3.3. Auralización	42
3.3.1. Auralización en Odeón	45
3.4. Test de escucha	46
3.4.1. WHISPER	47
3.4.2. MUSHRA	49
4 Descripción experimental	51
4.1. Introducción.	52
4.2. Material utilizado	52
4.3. Recintos utilizados	53

4.3.1. Iglesia de San Cebrián de Mazote	53
4.3.2. Iglesia de San Pedro de la Nave	54
4.3.3. Iglesia de Santa María de Melque	55
4.3.4. Iglesia de San Juan de Baños	57
4.3.5. Iglesia de Santa Lucía del Trampal	58
4.3.6. Iglesia de Santo Domingo de Silos	59
4.4. Respuestas impulsivas de los recintos utilizados	60
4.5. Pistas de audio grabadas en cámara anecoica	73
4.6. Auralización	74
4.6.1. Tratamiento de las respuestas impulsivas (simuladas y medidas) y de las pistas de audio	76
4.6.2. Convolución de las pistas de audio con las respuestas impulsivas	78
4.6.3. Tratamiento de la señal convolucionada y obtención de la pista auralizada	80
4.7. Test de escucha	81
4.7.1. Herramienta de escucha implementada	81
4.7.2. Desarrollo del test de escucha utilizado	82
4.7.3. Configuración del test de escucha desarrollado	97
4.7.4. Obtención de resultados del test de escucha y su tratamiento	101
5 Resultados obtenidos	103
5.1. Resultados de cada oyente	104
5.2. Resultados sesión 1	108

5.3. Resultados sesión 2	111
5.4. Resultados sesión 3	113
5.5. Estudio con el método de Grubbs de los resultados	117
5.6. Aciertos/fallos en el test de escucha	122
5.7. Análisis estadístico de los resultados	129
5.8. Rangos de la diferenciación de las pistas auralizadas de cada punto	140
5.9. Relación entre valores de JND y valores de diferenciación por evaluación subjética	148
6 Conclusiones	158
6.1. Conclusiones del presente trabajo	159
6.2. Líneas futuras de trabajo	163
7 Bibliografía	165
Referencias bibliográficas.	166
8 Anexo	172

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz gráfica de usuario utilizada en el test de escucha del Trabajo de investigación[34].	9
Figura 2. Tabla de escala de Degradación de la ITU-R BS 1284 [38]	12
Figura 3. El procedimiento de creación de pistas de audio (implementados con filtros HRTF y compensación de auriculares) y su posterior comparación por evaluación subjetiva con test de escucha[31].	16
Figura 4. Interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizada en el test de escucha	18
Figura 5. Imagen de test con ITU-T P.800	25
Figura 6. Imagen de la pantalla del test de escucha utilizado	26
Figura 7. Ejemplo de la escala utilizada en el test de escucha	26
Figura 8. Esquema de la auralización y convolución según Vörlander, extraído de su libro “ <i>Auralization</i> ”[56]	42
Figura 9. Esquema del proceso de Auralización, extraído de [59]	44
Figura 10. Esquema de auralización por convolución, extraída de [59]	45
Figura 11. Interior Iglesia de San Cebrián de Mazote	54
Figura 12. Interior Iglesia San Pedro de la Nave	55
Figura 13. Interior Iglesia de Santa María de Melque	56
Figura 14. Interior Iglesia San Juan de Baños	57
Figura 15. Interior Iglesia Santa Lucía del Trampal	58
Figura 16. Interior Iglesia Santo Domingo de Silos	60
Figura 17. Esquema del sistema de medida de las respuestas impulsivas	61

Figura 18. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia San Cebrián de Mazote 65

Figura 19. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia San Pedro de la Nave 66

Figura 20. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia Santa María de Melque 67

Figura 21. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia San Juan de Baños 68

Figura 22. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia Santa Lucía del Trampal 69

Figura 23. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia Santo Domingo de Silos 70

Figura 24. Gráfica comparativa de los Tiempos de reverberación T30 de las respuestas impulsivas (medidas y simuladas) de cada recinto 71

Figura 25. Esquema del proceso de auralización 75

Figura 26. Comparación de la pantalla del test de escucha de WHISPER y del test desarrollado en este proyecto 83

Figura 27. Pantalla ejemplo cuando las tres pistas son iguales 85

Figura 28. Comparación de la pantalla del test de escucha de WHISPER y del test desarrollado en este proyecto (parte 2) 86

Figura 29. Pantalla completa de comparación entre pistas del test de escucha 88

Figura 30. Resultados del test de escucha que se han generado por un oyente y que se pegan en cada ficha que se genera para cada oyente	104
Figura 31. Rango de edades de los oyentes en cada sesión	108
Figura 32. Gráfica con los valores promedio de la diferenciación de cada triada y por cada sesión	117
Figura 33. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho en cada punto	142
Figura 34. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho, en cada punto con el audio 1	145
Figura 35. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho, en cada punto con el audio 2	146
Figura 36. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho, en cada punto con el audio 3	147
Figura 37. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media o desviación típica de la diferenciación subjetiva del test de escucha	149
Figura 38. Correlaciones entre valores de JND (T30 1 KHz y T30 MID) y la media o desviación típica de la diferenciación subjetiva del test de escucha	150
Figura 39. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva con el audio 1 del test de escucha	152
Figura 40. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva con el audio 2 del test de escucha	153
Figura 41. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva con el audio 3 del test de escucha	154
Figura 42. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva del test de escucha para cada recinto	156
Figura 43. Pantalla inicial de aplicación. Aparece cuando se ejecuta WHISPER	174

Figura 44.	Pantalla para crear el nuevo test	175
Figura 45.	Pantalla del menú del test tras haber creado el nuevo test	176
Figura 46.	Pantalla de “stimulus pool”	177
Figura 47.	Pantalla para editar el estímulo a añadir en el test	178
Figura 48.	Pantalla para editar las sesiones del test de escucha	179
Figura 49.	Pantalla para configurar el procedimiento RGT que es el que se va a usar en el test de escucha	180
Figura 50.	Pantalla de la elección de los estímulos que se van a usar en una determinada sesión del test de escucha	181
Figura 51.	Pantalla en la que se editan las triadas que posteriormente aparecerán en el test de escucha	182
Figura 52.	Pantalla de la selección del orden en la secuencia de triadas del test de escucha	183
Figura 53.	Pantalla para abrir el test ya creado	185
Figura 54.	Pantalla del estado del test de escucha (antes y después de comenzar test de escucha)	186
Figura 55.	Pantallas que aparecen tras haber finalizado el test de escucha por parte del oyente	187
Figura 56.	Ejemplo de resultados generados en el archivo resultados-1.txt	188
Figura 57.	Pantalla inicial del test de escucha. Comentario con breve descripción sobre el test de escucha	189
Figura 58.	Pantalla test de escucha con comparación	190
Figura 59.	Pantalla del test de escucha con comparación y diferencia	191

Índice de tablas

Tabla. I.	Resumen con los principales errores/sesgos encontrados	24
Tabla. II.	Magnitudes acústicas agrupadas según los aspectos del oyente. (Tabla A.1 de la UNE-EN ISO 3382-1 [35])	33
Tabla. III.	Extraída de la Norma ISO/DIS 3382 [41] y de los libros de Bork [54] y Bradley [55]	41
Tabla. IV.	Tabla con los JND de las respuestas impulsivas de los puntos de cada recinto que se han elegido para realizar el estudio llevado a cabo en este Trabajo	64
Tabla. V.	Configuración de los estímulos del test de escucha	99
Tabla. VI.	Configuración de los estímulos del test de escucha	100
Tabla. VII.	Configuraciones de los estímulos de cada triada del test de escucha divididos en las tres sesiones	101
Tabla. VIII.	Tabla comparativa entre configuración triadas del test y respuestas del oyente y valores de diferencia entre pistas de audio.	105
Tabla. IX.	Valores de diferencia con respecto los tres parámetros acústicos que el oyente contestó en cada triada	106
Tabla. X.	Resumen de resultados del oyente en el test de escucha	106
Tabla. XI.	Datos (número de test, sesión del test realizado, identificador del sujeto, sexo y edad) de los oyentes que han realizado el test de escucha	107
Tabla. XII.	Media de edad de los oyentes y número de hombres y mujeres de cada sesión	108
Tabla. XIII.	Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Primera Parte)	109

Tabla. XIV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Segunda Parte)	109
Tabla. XV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Tercera Parte)	110
Tabla. XVI. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Cuarta Parte)	110
Tabla. XVII. Resumen de resultados de la diferenciación por cada triada de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha	111
Tabla. XVIII. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Primera Parte)	111
Tabla. XIX. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Segunda Parte)	112
Tabla. XX. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Tercera Parte)	112
Tabla. XXI. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Cuarta Parte)	113
Tabla. XXII. Resumen de resultados de la diferenciación por cada triada de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha	113
Tabla. XXIII. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Primera Parte)	114
Tabla. XXIV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Segunda Parte)	114
Tabla. XXV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Tercera Parte)	115
Tabla. XXVI. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Cuarta Parte)	115

Tabla. XXVII. Resumen de resultados de la diferenciación por cada triada de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha	116
Tabla. XXVIII. Promedios de los resultados de cada sesión del test de escucha	116
Tabla. XXIX. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la primera sección del test de escucha de la primera sesión	118
Tabla. XXX. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la segunda sección del test de escucha de la primera sesión	119
Tabla. XXXI. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la primera sección del test de escucha de la segunda sesión	120
Tabla. XXXII. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la segunda sección del test de escucha de la segunda sesión	120
Tabla. XXXIII. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la primera sección del test de escucha de la tercera sesión	121
Tabla. XXXIV. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la segunda sección del test de escucha de la tercera sesión	122
Tabla. XXXV. Valores límite para que se considere un resultado aberrante por el método de Grubbs	122
Tabla. XXXVI. Aciertos/fallos en las triadas de todos los oyentes que han realizado el test de escucha	123
Tabla. XXXVII. Aciertos/fallos en las triadas de los oyentes que han realizado la sesión 1 del test de escucha	124
Tabla. XXXVIII. Aciertos/fallos en las triadas de los oyentes que han realizado la sesión 2 del test de escucha	125
Tabla. XXXIX. Aciertos/fallos en las triadas de los oyentes que han realizado la sesión 3 del test de escucha	126

Tabla. XL. Aciertos/fallos por cada punto de cada Iglesia con el Audio 1 (voz hablada) del test de escucha 127

Tabla. XLI. Aciertos/fallos por cada punto de cada Iglesia con el Audio 2 (palmadas) del test de escucha 128

Tabla. XLII. Aciertos/fallos por cada punto de cada Iglesia con el Audio 3 (música) del test de escucha 128

Tabla. XLIII. Resultados de la diferenciación de la sección 1 del test de escucha 130

Tabla. XLIV. Resultados de la diferenciación de la sección 1 del test de escucha por cada punto, con el promedio, desviación típica y moda de éstos. 131

Tabla. XLV. Resultados de la media, desviación típica y moda de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto y por recinto. 132

Tabla. XLVI. Resultados de la diferenciación de la primera parte de la sesión 1 del test de escucha por cada triada, con el promedio, desviación típica y moda de éstos. 134

Tabla. XLVII. Resultados de la diferenciación de la primera parte de la sesión 2 del test de escucha por cada triada, con el promedio, desviación típica y moda de éstos. 135

Tabla. XLVIII. Resultados de la diferenciación de la primera parte de la sesión 3 del test de escucha por cada triada, con el promedio, desviación típica y moda de éstos 136

Tabla. XLIX. Promedios de la media, desviación típica y moda de las tres sesiones 136

Tabla. L. Resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto (Audio 1), con el promedio, desviación típica y moda de éstos. 137

Tabla. LI. Resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto (Audio 2), con el promedio, desviación típica y moda de éstos.

138

Tabla. LII. Resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto (Audio 3), con el promedio, desviación típica, moda y rango de éstos.

139

Tabla. LIII. Promedios de la media, desviación típica y moda de la diferencias de los puntos con respecto a cada audio

139

Tabla. LIV. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto

141

Tabla. LV. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto con el audio 1

143

Tabla. LVI. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto con el audio 2

143

Tabla. LVII. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto con el audio 3

144

Tabla. LVIII. Resultados de la media, desviación típica y moda de la diferenciación del test de escucha por cada punto y por recinto comparándolos con los valores de JND.

148

Resumen

Para estudiar la acústica en recintos se utilizan herramientas de modelado acústico de salas y la auralización de estos recintos. En muchos casos el mismo software de modelado genera las auralizaciones que simulan como se escucharía un determinado audio en un punto del recinto. En el presente trabajo se intenta estudiar la calidad de las respuestas impulsivas simuladas generadas por una de estas herramientas de modelado.

El proyecto consiste en realizar una evaluación subjetiva de la diferenciación entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas en diferentes recintos, comparándola con los parámetros acústicos objetivos que se han obtenido mediante una evaluación objetiva anterior.

Para ello, se desarrolla una herramienta software que, con las respuestas impulsivas simuladas (generadas por un software de modelado acústico, ODEON) y las respuestas impulsivas medidas, genere: las auralizaciones correspondientes; un test de escucha para hacer la evaluación subjetiva de las auralizaciones obtenidas y una interfaz de usuario para interaccionar con los oyentes a evaluar; y que almacene los resultados del test de escucha.

Además se llevará a cabo la evaluación subjetiva (test de escucha) con un grupo de oyentes, con los que posteriormente se obtendrán los resultados para poder comparar con los valores objetivos.

A partir de los resultados del test de escucha, se estudiará la relación entre las diferencias de las respuestas impulsivas (medidas y simuladas) con respecto a: 1) parámetros objetivos (diferencias en valores de JND), 2) evaluación subjetiva (diferenciación subjetiva con el test de escucha) y, 3) comparación entre ambos. Finalmente, se obtendrán las conclusiones derivadas de este estudio.

Summary

Tools of Room Acoustic Modeling and the auralization of these rooms have been used to study room Acoustics. In many cases, the modeling software itself generates the auralizations which simulate the sound of a particular audio in a particular position in a room. The quality of simulated impulse responses generated by a modelling tool has been studied in this project.

The project carries out a subjective evaluation of the differences between measured and simulated impulse responses in different rooms, and in comparing them with objective acoustical parameters which have been obtained from the previous objective evaluation.

For this, a software tool has been developed. This software, with simulated (generated by a modelling software, ODEON) and measured impulse responses generate: the correspondent auralizations, listening test (which carries out the subjective evaluation of the auralization) and a user interface to interact with listeners. This tool also stores the listening test results.

In addition, the subjective evaluation (listening test) will be carried out with a group of listeners, from who we will get the results to compare subjective values.

The differences between impulse responses (both measured and simulated) are obtained from the results of the listening test and these differences have been studied regarding: 1) objective parameters (difference in JND values); 2) subjective evaluation (subjective differences with the listening test); 3) comparison between both. Eventually the conclusions derivative from this project will be obtained.

1

Introducción

1.1. Introducción.

Los modelos por ordenador de acústica de salas aparecen por primera vez alrededor de 1967 y hasta la década de los 90 han ido madurando hasta alcanzar hoy una eficiencia capaz de proporcionar resultados próximos a las condiciones acústicas reales en recintos.

La auralización es el proceso por el cual se lleva a cabo un modelado en tres dimensiones de un recinto que se genera al convolucionar la respuesta al impulso del recinto y una señal de audio grabada en sala anecoica. Sin embargo, los sistemas de auralización generados por simulación (programas de modelado acústico) todavía no proporcionan una auralización que se perciba igual que la realidad, en la que se pueda confiar plenamente.

En este trabajo se pretende estudiar la calidad del modelado acústico de salas realizado por ordenador y las auralizaciones que se originan, comparando las auralizaciones que se han generado de dicha simulación con la auralización obtenida de la respuesta impulsiva medida.

Para ello se someterán a evaluación objetiva y subjetiva las respuestas impulsivas generadas, para determinar cómo de semejantes son las auralizaciones simuladas a la realidad.

1.2. Objeto del Proyecto.

El objetivo principal en este trabajo es la realización de una evaluación subjetiva de la concordancia entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas en diferentes recintos, comparándola con los parámetros acústicos objetivos.

A partir de este objetivo principal, se pretenden lograr otros objetivos más específicos que se indican a continuación:

- Crear respuestas impulsivas simuladas mediante un software de modelado acústico de salas, y generar las auralizaciones medidas y simuladas.
- Desarrollar herramienta de software que automatice el proceso de evaluación subjetiva.

- Realizar evaluación subjetiva entre respuestas impulsivas simuladas y medidas.
- Concordancia entre comparación objetiva (JND) y comparación subjetiva.
- Obtener conclusiones de la evaluación subjetiva.

2 Estado del arte

2.1. Introducción.

Tras concretar los objetivos de este proyecto se investigaron y analizaron los estudios más importantes que se han realizado en los campos en los que vamos a trabajar en el proyecto que nos ocupa. Son muchos los trabajos de investigación que se han dedicado a la obtención de auralizaciones y la utilización e test de escucha para comparar pistas de audio auralizadas.

Los predecesores de los sistemas de auralización han sido los algoritmos de reverberación artificial. Desde el trabajo pionero de Schroeder los reverberadores digitales han sido desarrollados por la industria de la música y del audio profesional.

Los algoritmos de reverberación al igual que los sistemas de auralización pueden ser diseñados desde un punto de vista tanto físico como perceptual. Desde el punto de vista físico se busca simular exactamente la propagación del sonido desde la fuente al oyente en una habitación dada; mientras que desde el punto de vista perceptual se intenta reproducir sólo las características de reverberación perceptualmente salientes. Mientras la mayoría de los sistemas de auralización realizados se basan en el punto de vista físico, todos ellos incluyen algunas apreciaciones perceptuales, usadas para simplificar y optimizar el cálculo.

Los sistemas de auralización han sido estudiados por numerosos grupos de investigación que se desarrollarán a continuación. Primero, se enumeran los grupos de investigación cuyos trabajos poseen mayores logros en el modelado computacional acústico de salas. Hay que reseñar que casi todo el trabajo ha sido llevado a cabo durante los últimos 25 años y muchos institutos publicaron ideas y algoritmos al mismo tiempo:

- Uno de los primeros intentos de modelar acústicamente salas y realizar auralizaciones binaurales de salas de conciertos, fue realizada a finales de los 80 en el Centro Científico y Técnico de Construcción, en Francia. Además, fueron unos de los primeros grupos que propusieron el modelado separado de las primeras reflexiones y la reverberación tardía.
- Una investigación sobre el modelado acústico de salas llevado a cabo en la Universidad Técnica de Aachen, en Alemania ([1], [2], [3]), hace más de una década. Más recientemente han aplicado la auralización en estudios de aislamiento sonoro en edificios.

- En la Universidad Chalmers de Tecnología, Suecia, desde principios de los años 90 ([4] y [5]) se han llevado a cabo muchas investigaciones de modelado de reflexiones al igual que investigaciones básicas de métodos de auralización. Más recientemente han estudiado con éxito el modelado de la difracción. El doctor Dalenbäck ha desarrollado (en colaboración con miembros de la Universidad Chalmers de Tecnología) el programa de modelado *CATT Acoustic* en salas acústicas incluyendo auralización.
- En la Universidad Técnica de Dinamarca, la investigación de auralización y modelado acústico de salas de concierto durante las últimas dos décadas ha llevado a un programa de modelado acústico de salas llamado Odeon [6].
- En la Universidad de Parma, Italia, la investigación de la acústica en salas de conciertos y sistemas sonoros dentro de coches ha sido ejecutado desde mediados de los 90. Además han producido un software comercial de modelado acústico en sala llamado Ramsete. [7]
- En relación con los gráficos por ordenador, los métodos de modelado acústico en salas y algoritmos de representación del sonido en tiempo real han sido desarrollados desde 1997 en la Universidad de Princeton y los Laboratorios Bell, en Estados Unidos. [8][9]
- La investigación de reverberadores artificiales y de la auralización ha sido llevada desde 1992 en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, Estados Unidos. [10][11]
- El programa de simulación acústica en sala EASE incluye auralización, y ha sido desarrollado durante las últimas dos décadas por la Escuela de Diseño Acústico, en Alemania. Otros programas de predicción acústica en sala que contienen auralización son Ray Noise y Bose Auditorer. [12][13]

Los siguientes grupos de investigación han tenido un impacto importante en los campos de grabación y reproducción de sonido en 3D.

- Durante los últimos 30 años se han desarrollado en la Universidad de Bochum, en Alemania, un gran número de investigaciones de escucha espacial humana y de modelado acústico en sala. [14]
- La tecnología binaural y los métodos de medida HRTF han sido extensamente desarrollados desde 1992 en la Universidad de Aalborg, en Dinamarca. [15][16]
- En el Instituto de Investigación del Sonido y Vibración, en Reino Unido, se han desarrollado durante las dos últimas décadas la tecnología de reproducción de sonido en 3D y los algoritmos de procesado de la señal. [17][18]

- En el centro de Investigación de la NASA (Estados Unidos) la investigación ha sido conducida por el interés de la escucha direccional y los sistemas de tiempo real desde 1990. Además, el Doctor Begault publicó el primer libro sobre el sonido en 3D. Posteriormente, han construido una herramienta para la auralización en tiempo real, llamada SLAB. [19][20][21][22][23]

Las siguientes investigaciones han sido desarrolladas únicamente para ciertas aplicaciones específicas:

- Una herramienta específica para músicos con un planteamiento de modelado perceptual, que se ha desarrollado desde principios de los 90 en el Instituto de Investigación y Coordinación Acústica/Música (IRCAM). En particular, han desarrollado algoritmos de procesamiento de la señal para una representación eficiente y para sistemas en tiempo real. [24][25]
- Durante los últimos años los investigadores del Estudio Profesional de Audio AG, Suiza, han implementado herramientas para el audio profesional, tal como salas de escucha con referencia virtual y sistemas de escáner binaural en sala para consolas de mezcla digital. [26][27]
- Se han creado instalaciones de aplicaciones de auralización en realidad virtual en Alemania, en el Instituto de Diseño Gráfico de Fraunhofer y el Centro Nacional Alemán de Investigación para Tecnologías de la Información. [28]
- A principios de los 90, antes de la era de los ordenadores de mesa, se llevó a cabo la convolución de respuestas impulsivas y señales anecoicas con Convolvotron, por Crystal Rive Engineering; y HURON por Lake Technologies. [29][30]

Aunque se han desarrollado bastantes sistemas de auralización, la evaluación de su calidad todavía no ha sido analizada pormenorizadamente. Esto puede ser consecuencia de que dicha evaluación es muy laboriosa y la calidad absoluta es difícil de definir. Pellegrini [26] sugiere que no se puede alcanzar una auténtica audición en entorno virtual y que la calidad sólo debería ser estimada con el concepto de plausibilidad. Esto significa que toda la calidad requerida debería ser testada con una aplicación específica dada y en este sentido se puede definir si la actuación de la auralización es plausible con la aplicación específica.

En la tesis de Lokki [31], la evaluación de la calidad de la auralización ha sido realizada comparando grabaciones y auralizaciones. Esta idea ya fue propuesta por Borish en 1984 y por Kleiner [32]. Sin embargo, la primera evaluación fue publicada

por Pompetzki y Blauert [14][33]. Su estudio, llevado a cabo hace más de diez años en la Universidad de Bochum, fue representado en una gran conferencia y para obtener respuestas binaurales aplicaron cabezas artificiales para la medida de respuestas impulsivas. Como fuente de sonido, usaron un altavoz dodecaédrico con unas características de radiación uniformes. Como resultado, aseguran que con un modelado geométrico adecuado y con características de medida in-situ de absorción de paredes, se alcanzó una auténtica percepción con señales de voz.

Con respecto a la evaluación subjetiva de las auralizaciones, en el trabajo llevado a cabo por Lokki y Järveläinen, llamado “Evaluación subjetiva de auralizaciones basadas en modelado acústico de salas”, desarrollaron un test de escucha implementado sobre Matlab. Esta herramienta se puede observar en la Figura 1, en la que aparece la pantalla en la que el oyente evalúa las pistas de audio.

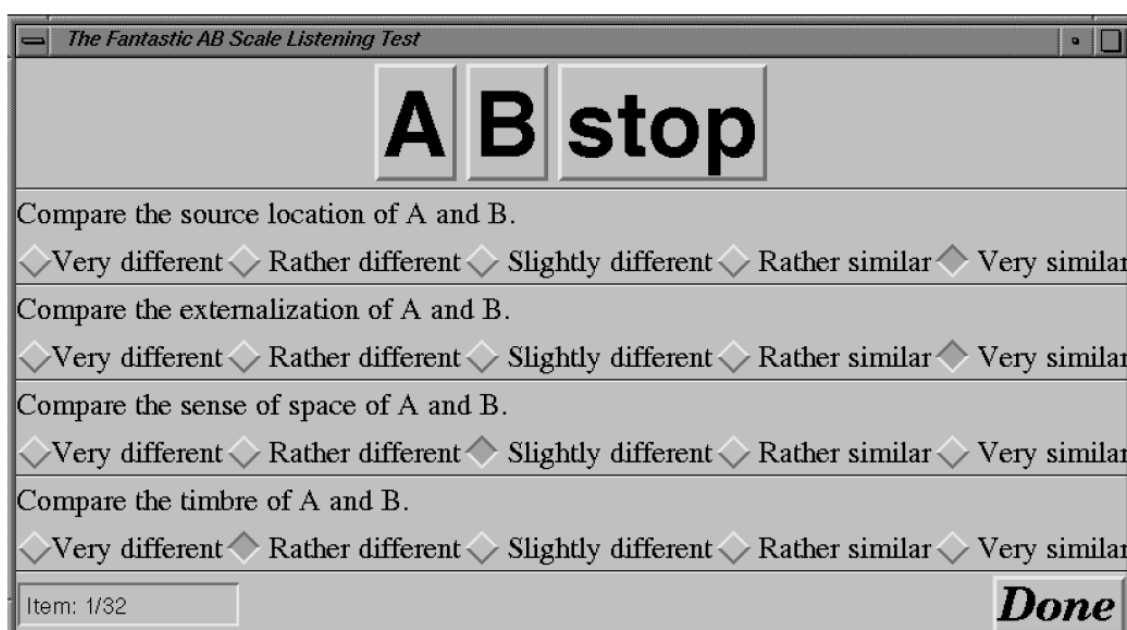


Figura 1. Interfaz gráfica de usuario utilizada en el test de escucha del Trabajo de investigación[34].

Los test de escucha son considerados hoy en día como el método más fiable de evaluación de la calidad de audio. Aunque muchos métodos estandarizados de la evaluación de audio de calidad se han establecido en los últimos 20 años, emergen tres importantes recomendaciones que son usadas frecuentemente. La primera, la recomendación ITU-BS.1116 [35], se desarrolla primariamente para la evaluación de pequeñas deficiencias en la calidad de audio. La segunda, ITU-R BS. 1534-1 [36], se planea para la evaluación de sistemas de audio que exhiben niveles intermedios de

calidad. El tercer método, que se define en ITU-T P.800 [37], es ampliamente usado para la evaluación de la calidad en conversaciones telefónicas. La recomendación que más se utiliza en los test de escucha del campo de este trabajo de investigación es la ITU-BS.1116.

En los siguientes apartados se van a tratar los documentos más relevantes para este trabajo y que se han tenido en cuenta para el desarrollo de este Trabajo, en orden cronológico.

2.2. Recomendación ITU-R-BS 1116-1 (1997)

Teniendo en cuenta las recomendaciones que se recogen en UIT-R BS.1116-1 [35] para métodos para la evaluación subjetiva en sistemas de audio, hemos resumido los siguientes puntos clave, que además han sido tenidos en cuenta a la hora de llevar a cabo nuestro estudio.

Diseño del experimento

En la evaluación subjetiva de las degradaciones de los sistemas de audio es recomendable utilizar los métodos experimentales más formales. Los experimentos subjetivos se caracterizan, en primer lugar, por la manipulación y el control real de las condiciones del experimento y, en segundo lugar, por los datos cuantitativos procedentes de observadores humanos. Es necesario llevar a cabo una planificación y diseño detallados del experimento para evitar la aparición factores incontrolados que influyan en la prueba de escucha, y así no surjan ambigüedades.

Las pruebas de escucha deben ser diseñadas de manera que no produzcan una sobrecarga a los participantes, lo que les lleve a disminuir la exactitud de sus apreciaciones. Se recomienda que al principio del proceso de planificación de las pruebas de escucha se cuente con la presencia de profesionales experimentados en análisis estadístico y diseño de experimentos o, al menos, se les consulte.

Selección de los oyentes

Cuanto mayor sea la calidad alcanzada en los sistemas que deben someterse a prueba, más importante será contar con oyentes expertos.

Normalmente, el objetivo es investigar si un grupo de oyentes expertos, sometidos a unas ciertas condiciones, pueden percibir degradaciones relativamente ligeras y a la vez realizar una estimación cuantitativa de las mismas. Se puede introducir una técnica de rechazo antes (selección previa) o después (selección posterior) de la prueba real.

Cualquier tipo de técnica de rechazo que no se haya analizado y aplicado de forma minuciosa puede dar lugar a resultados sesgados. Por consiguiente, es muy importante que siempre que se eliminen algunos datos, el informe de prueba describa claramente el criterio aplicado de forma que el lector pueda llegar a sus propias conclusiones.

El procedimiento de adiestramiento o entrenamiento puede utilizarse como método para realizar la selección previa. El argumento principal para introducir una técnica de selección previa es el de aumentar la eficacia de la prueba de escucha. Sin embargo, puede ser contraproducente, ya que se corre el riesgo de limitar excesivamente la representatividad de los resultados.

Siempre que se lleve a cabo una prueba de escucha subjetiva con el método de prueba recomendado se dispone automáticamente de la información necesaria para el segundo tipo de selección posterior.

Número de oyentes

El número adecuado de oyentes puede estimarse calculando la varianza y determinando la resolución necesaria del experimento. La experiencia ha demostrado que a menudo bastan los datos procedentes de 20 de ellos para extraer las conclusiones adecuadas de la prueba. Si se espera que algunos de los sistemas sean prácticamente transparentes, es necesario contar con un número mayor de participantes para garantizar que una cantidad suficientemente amplia de éstos supere la prueba de selección posterior.

Si por cualquier razón no puede lograrse un control estricto del experimento, se necesita un número más elevado de participantes para obtener la resolución necesaria.

Método de prueba

Es necesario seleccionar un método adecuado. Un método especialmente sensible, estable y que permite detectar con exactitud pequeñas degradaciones es el

de «triple estímulo doblemente ciego con referencia oculta». En este método, sólo actúa un participante cada vez y lo hace seleccionando a discreción uno de entre tres estímulos («A», «B» y «C»). La referencia conocida siempre es el estímulo «A». La referencia oculta y el objeto son «B» y «C», asignados de manera «aleatoria», dependiendo del experimento.

Se solicita al participante que evalúe las degradaciones en «B» comparadas con las de «A», y las de «C» comparadas con las de «A», de acuerdo con la escala continua de degradación de cinco notas. Uno de los estímulos, «B» o «C», debe ser indistinguible del estímulo «A», el otro puede presentar degradaciones. Toda diferencia percibida entre la referencia y los otros estímulos debe interpretarse como una degradación.

El procedimiento de prueba establece su propio ritmo. La escala de apreciaciones puede considerarse continua con «referencias» obtenidas de la escala de degradación de cinco notas del UIT-R que aparece en la Recomendación UIT-R BS.1284 indicada en el Cuadro que aparece en la Figura 2.

Degradación	Nota
Imperceptible	5,0
Perceptible, pero no molesta	4,0
Ligeramente molesta	3,0
Molesta	2,0
Muy molesta	1,0

Figura 2. Tabla de escala de Degradación de la ITU-R BS 1284 [38]

Se ha comprobado que la utilización de puntos de referencia intermedios predefinidos puede introducir sesgos. En caso de que no se utilicen puntos de referencia intermedios, resulta esencial normalizar los resultados correspondientes a cada sujeto con respecto a la media y a la desviación típica. La siguiente ecuación puede aplicarse para lograr dicha normalización, reteniéndose al mismo tiempo la escala original.

$$Z_i = \frac{(x_i - x_{si})}{s_{si}} \cdot s_s + x_s$$

donde:

Z_i : resultado normalizado

x_i : nota del participante i

x_{si} : nota media para el participante i en la sesión s

x_s : nota media de todos los participantes en la sesión s

s_s : desviación típica para todos los participantes en la sesión s

s_{si} : desviación típica para el participante i en la sesión s .

El uso de escalas sin punto de referencia intermedio impide también la interpretación de los resultados en términos absolutos. Se recomienda utilizar la escala con una resolución de un número decimal.

El método de prueba consta de dos partes: fase de adiestramiento (entrenamiento) o de familiarización y fase de apreciación.

1. Fase de adiestramiento o de familiarización

Antes de realizar la apreciación formal, debe permitirse a los participantes familiarizarse con los dispositivos y el entorno de prueba y con el proceso y las escalas de apreciación, así como los métodos de utilización. Los participantes deben familiarizarse también con los elementos estudiados. Durante el proceso de familiarización o adiestramiento, debe agruparse preferentemente a los participantes de manera que puedan intercambiar opiniones libremente y discutir entre sí sobre las degradaciones que detecten.

Al finalizar dicho proceso, los participantes deben haber adquirido un conocimiento preciso de la escala que se utilizará en la fase de apreciación formal que seguirá al proceso de familiarización o adiestramiento.

2. Fase de apreciación

El procedimiento de prueba debe basarse exclusivamente en la memoria a corto plazo. Para ello, lo más adecuado es utilizar un método de conmutación casi instantánea junto con un sistema de triple estímulo.

Los participantes deben actuar de forma individual. Sólo de esa manera tendrán completa libertad para conmutar entre los estímulos en el método del triple estímulo. Esta libertad es esencial para que el participante pueda utilizar

completamente su propio criterio al realizar comparaciones detalladas entre los estímulos de cada experimento.

Una sesión de apreciación no debe durar más de 20 ó 30 min. La experiencia sugiere que no deben programarse más de 10 ó 15 experimentos por sesión para lograr la duración de sesión deseada. La fatiga de los participantes puede convertirse en un factor fundamental que interferiría seriamente en la validez de sus juicios.

Material de programa

Es importante definir los atributos que se van a evaluar para poder seleccionar correctamente el material de programa. Es posible que nos encontremos con un resultado "nulo" a la hora de llevar a cabo un test, y antes de aceptarlo como tal, es preciso comprobar de forma empírica y estadística que no se ha producido una elección inadecuada del material de audio o de cualquier otro aspecto del experimento.

Si estas referencias no permiten dicha identificación correcta por parte de ningún oyente, esto será indicio de que los oyentes carecen de la experiencia necesaria o de que existen defectos de sensibilidad en la situación, o ambas cosas a la vez.

En el caso de material de prueba con grabación digital, el nivel de alineación debe corresponder a -18 dB con respecto al máximo nivel de codificación posible del sistema digital [39]. La señal del programa radiofónico debe controlarse de forma que las amplitudes de las crestas sólo raramente rebasen la amplitud de cresta de la señal máxima permitida definida en la Recomendación UIT-R BS.645 [40] (una onda sinusoidal 9 dB por encima del nivel de alineación). En esas condiciones un medidor de cresta de programa indicará los niveles que no rebasan el nivel de la señal máxima permitida.

El posible número de pasajes que pueden incluirse en una prueba varía, pero deberá ser igual para cada objeto. Una estimación razonable es de $1,5 \times$ (número de objetos), con un valor mínimo de 5 pasajes. Los pasajes de audio tendrán una duración típica entre 10 y 25 s.

Dispositivos de reproducción

Deben elegirse auriculares o altavoces de control de referencia con objeto de que todas las señales radiofónicas u otras señales de prueba puedan reproducirse de

forma óptima; es decir, deben proporcionar sonido neutro para cualquier tipo de reproducción y deben poder utilizarse en evaluaciones monofónicas así como en evaluaciones de sistemas de sonido estereofónico de dos o más canales.

El objeto fundamental del análisis estadístico de los resultados de prueba es identificar con exactitud la calidad de funcionamiento media de cada uno de los sistemas sometidos a prueba y la fiabilidad de cualquier diferencia entre los valores de calidad de funcionamiento media. Este último aspecto obliga a efectuar una estimación de la variabilidad o varianza de los resultados.

Si se han realizado las pruebas de acuerdo con los procedimientos indicados en otros puntos de la presente Recomendación, es probable que la escala presente intervalos regulares; es decir, todos los pasos de la escala de apreciaciones tendrán aproximadamente el mismo tamaño. Sin embargo, la propiedad de la escala obtenida no impide ni exige la utilización de un método estadístico en particular.

Solamente en el caso de que en importantes propiedades de los datos se detecten desviaciones apreciables con respecto a las hipótesis subyacentes en el modelo de análisis de varianza (ANOVA), habría que considerar otros métodos de análisis (por ejemplo, los no paramétricos). Específicamente, se aconseja aplicar como primera etapa un análisis primario o del modelo ANOVA. Posteriormente, pueden emplearse otros métodos (tales como el de prueba-*t*, Neuman-Keuls, Scheffe, etc.) que utilizan estimaciones de la varianza proporcionadas por el ANOVA para estudiar más detalladamente dónde se encuentran los efectos globales más significativos (de haberlos) que revela el ANOVA.

La base para llegar a una decisión puede reforzarse si una hipótesis particular también se cumple para una validación con un método estadístico alternativo. Por consiguiente, se sugiere aplicar un análisis de datos suplementario (tales como el Wilcoxon, etc.).

2.3. Trabajo de investigación de Lokki (2002)

La evaluación de la calidad de auralización se basaba en la valoración que era llevada a cabo al comparar pistas de audio grabadas y auralizadas. Este desarrollo se

muestra en la Figura 3. Las grabaciones hechas en la sala de conferencia estudiada, la que también fue modelada para propósitos de auralización, se consideraron como señales de referencia. La idea de tal comparación de señales grabadas y auralizadas había sido propuesta anteriormente, pero hasta la tesis de Lokki [31] no se tienen en cuenta tanto las representaciones estáticas como dinámicas para ser comparadas con métodos objetivos y subjetivos.

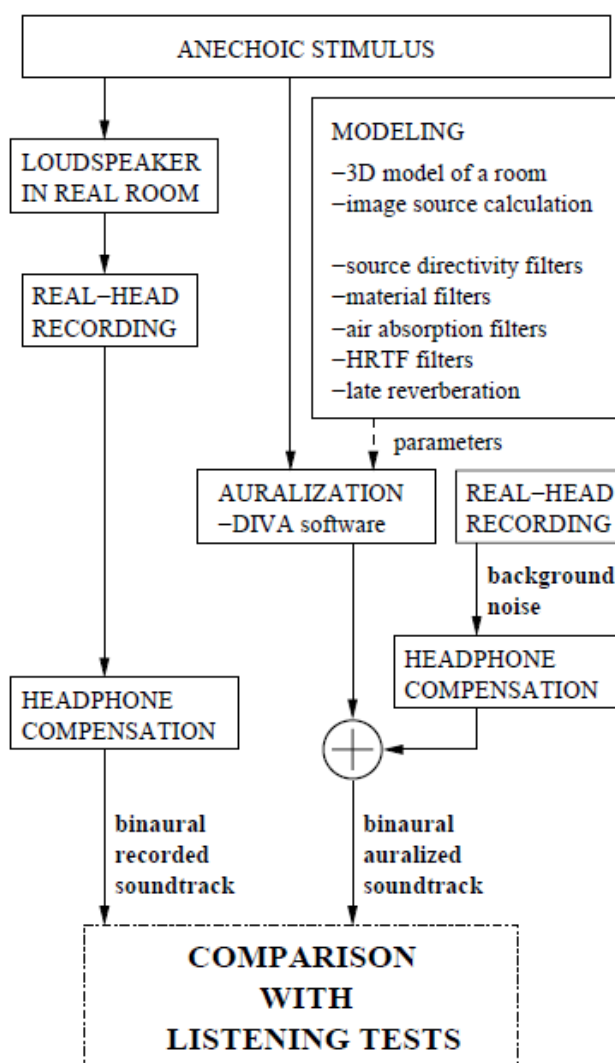


Figura 3. El procedimiento de creación de pistas de audio (implementados con filtros HRTF y compensación de auriculares) y su posterior comparación por evaluación subjetiva con test de escucha[31].

La evaluación era llevada a cabo dos veces objetivamente y subjetivamente con tres test de escucha estudiados y más tarde con un test informal. La razón para esta valoración repetitiva es que después de cada estudio modelos y filtros de diseño

han sido mejorados. Además, los métodos de evaluación han sido desarrollados durante el proceso entero ya que la metodología no ha sido completamente aceptada para estudiar la calidad de auralización o la calidad de la reproducción del sonido espacial es aceptada por la comunidad investigadora.

La evaluación era llevada a cabo objetivamente al calcular diferentes parámetros acústicos en sala y subjetivamente con test de escucha organizados. En esta sección se introdujeron métodos aplicados.

Tradicionalmente, la calidad acústica de sala ha sido descrita con parámetros objetivos que pueden ser calculados con respuestas impulsivas medidas. En esta tesis [31] se utilizaron los siguientes parámetros:

- Densidad de reflexiones, calculada al computar reflexiones individuales en una ventana deslizante de 10 ms en cada una de las cuales los picos de 20 dB desde la reflexión más fuerte fueron contados para definir la densidad. El algoritmo ha sido implementado al detectar los valores absolutos de la respuesta la cuál excedía los otros valores propuestos anteriormente.
- El tiempo de reverberación (T30), el tiempo de decaimiento (EDT), y claridad (C50), los cuales son definidos en la Norma ISO-3382 [41] y en el apartado 3.1.

Para un análisis objetivo más detallado se desarrolló un modelo auditivo monoaural y se aplicó un análisis de respuestas separadas para cada oído. El objetivo en el modelado auditivo es encontrar modelos matemáticos que representen algunos aspectos psicológicos y perceptuales de la escucha humana. El modelo aplicado no es un modelo auditivo exacto, pero copia el comportamiento de la cóclea del oído humano. Y es más, con el método propuesto, respuestas y señales pueden ser visualizadas con un tiempo y resolución de frecuencia similar al que tiene la escucha humana.

Para investigar las diferencias subjetivas entre las pistas de audio grabadas y las pistas auralizadas es necesario que se lleven a cabo una gran cantidad de test de escucha. Se probaron diferentes métodos de test de escucha, ya que no existía una metodología para medir la calidad de la auralización. Finalmente, la última evaluación se hizo con un método propuesto para testar la calidad del códec de audio, teniendo en cuenta que el objetivo en la comparación de las pistas de audio grabadas y auralizadas era encontrar una certeza subjetiva de pequeñas diferencias. El método de comparación elegido, recomendado en ITU-R BS.1116-1 [35] (comentado en

apartado anterior 2.2), era doble-ciego triple estímulo con método de referencia oculta. En los test de escucha no se ha seguido estrictamente la recomendación. Por ejemplo, los requerimientos que necesitaban de un entrenamiento exhaustivo y selección por parte de los sujetos no podía darse dentro del test desarrollado.

El test de escucha se realizó usando el software GuineaPig2. El cuadro de diálogo se muestra en Figura 4. Un total de 20 sujetos (tres mujeres y 17 hombres) participaron en el test de escucha final. Todos ellos tenían una audición normal, aunque no se verificó con test de audiometría. El test se hizo en una sala de escucha estándar y el método de reproducción con auriculares se aplicó con unos auriculares Sennheiser HD-580.

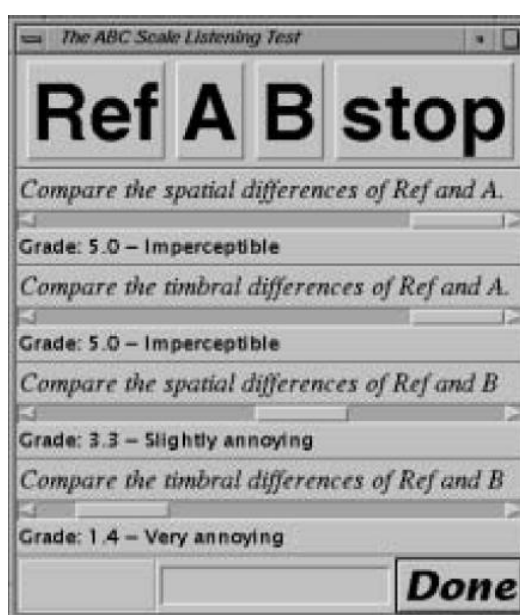


Figura 4. Interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizada en el test de escucha

La evaluación de escucha consistía en comparar las diferencias espaciales y de timbre entre las pistas de audio grabadas y auralizadas. Pidieron a los sujetos cuantificar la localización de la fuente de sonido, el tamaño del espacio, y la reverberación teniendo en cuenta las diferencias espaciales. De igual manera, se aconsejó a los sujetos que tuvieran en cuenta atributos como color de sonido y contenido de frecuencia para poder evaluar las diferencias de timbre. La escala de respuesta abarcaba desde "muy molesto" hasta "imperceptible" como se recomienda en ITU-R BS 1116-1. Cada respuesta correspondía con un valor decimal desde 1.0 hasta 5.0 en pasos de 0.1, siendo la puntuación 1.0 como "muy molesta".

Todos los sujetos eran entrenados con cuatro casos que debían escuchar antes del test y bajo la vigilancia de un supervisor. Durante la sesión de entrenamiento los sujetos aprendían a utilizar GUI y además se familiarizaban con las tareas y con las escalas de calificación.

El diseño e implementación de los sistemas de auralización que representan un modelo 3D de un espacio audible han sido presentados en publicaciones. Las innovaciones en estas publicaciones incluyen:

- Procedimientos para la incorporación de fenómenos acústicos como la directividad de la fuente de sonido, aire y absorción material, y las características de escucha espacial de representación dinámica. Los correspondientes filtros digitales se utilizaron de una manera robusta y automática en respuestas analíticas medidas al aplicar un filtro de técnicas de diseño optimizadas perceptualmente.
- La implementación del modelado de difracción en el presente sistema de auralización de una manera computacionalmente eficiente.
- La realización de la representación dinámica de sonido empleando varias técnicas de interpolación.

El método utilizado en este trabajo, que analiza acústicamente salas motivado por una percepción auditiva, implica la visualización de respuestas impulsivas en la sala utilizando un tiempo y resolución en frecuencia similares al de la escucha humana. Al usar micrófonos direccionales, las características direccionales de decaimiento del campo sonoro pueden ser estudiadas con el método descrito.

La evaluación del sistema de auralización presentado en el trabajo expuesto en este apartado fue recogido en publicaciones incluyendo las siguientes innovaciones:

- El método de análisis, motivado por la percepción auditiva, fue utilizado en la evaluación de la calidad de auralización.
- La calidad de auralización ha sido validada con test de escucha y ha sido demostrado que las auralizaciones pueden difícilmente ser distinguidas de las grabaciones hechas en salas de conferencias.

Lokki ha seguido trabajando en esta línea de investigación en otros proyectos como el de “Evaluación de resultados de la auralización” [42].

2.4. Trabajo de investigación de Larsson, Västfjäll y Kleiner (2003)

El título del escrito que publicaron estos investigadores se llama “Interacción visual-auditiva en habitaciones reales y virtuales” [43]. A continuación se resumen los aspectos importantes de este trabajo.

Medir las condiciones acústicas de una sala de forma consistente y objetiva y encontrar correlación entre estas medidas objetivas y la experiencia subjetiva ha sido el objetivo de muchas de las investigaciones en la acústica arquitectónica. Usando estas relaciones entre factores perceptuales e índices objetivos, los acústicos pueden ser capaces de predecir y medir objetivamente la calidad de un hall o un auditorio. Sin embargo establecer estas relaciones es complicado debido a los factores que influyen sobre el juicio subjetivo. Teorías actuales y hallazgos empíricos indican que la información perceptual de un sentido (visión) influye en la evaluación y percepción de la información de otro sentido (audición). Se pueden encontrar ejemplos de “asociaciones cognitivas” entre modalidades de percepciones en situaciones del día al día como por ejemplo cuando la información visual (“esta sala se parece a una sala de conciertos”) y la auditiva (“esta sala suena como una sala de conciertos”) se combinan para formar una evaluación total de la situación. Por ello es razonable asumir que estas interacciones (Cross-modales, entre diferentes sentidos) afecten a la experiencia subjetiva, a las evaluaciones y a los juicios sobre la calidad de la sala. Pese a que pocas investigaciones han dirigido la interacción de la información de distintos sentidos en este área, se ha preferido estudiarlas de forma separada.

La auralización por ordenador y las tecnologías de realidad virtual han mejorado en la eficiencia en los estudios del fenómeno de la interacción Cross-modal. Aunque es cuestionable hasta que punto estos estudios coinciden con la realidad.

Este artículo dirige la interacción Cross-modal en la percepción de la acústica arquitectónica y propone una explicación al fenómeno cross-modal en la percepción de la acústica arquitectónica. En relación a esto, también se discute la fidelidad de las simulaciones de entornos virtuales y reales, como medidas de calidad para comprobarlo.

Egan [44], por ejemplo, dice que los factores visuales que afectan al éxito acústico de la sala son el color (p.e. los directores de orquesta prefieren interiores blancos y dorados a los azules) y el uso de materiales (p.e. los músicos creen que un

auditorio tiene que tener paredes de madera para que suene bien). Otros acústicos dicen que uno de los componentes tanto de la precepción de volumen e intimidad acústica se puede apreciar en la naturaleza. Las investigaciones de Ando [45] de la correlación entre la iluminación, el nivel preferido de escucha y el retraso entre el sonido directo y una única reflexión en una sala para algún grado confirma esta hipótesis. Los resultados de este experimento indican que los oyentes prefieren menores niveles de presión sonora con altas iluminaciones. Por el contrario, el retraso (time delay, entre sonido directo y reflexiones) era altamente independiente de la iluminación. Ando explicó con esto que tanto el nivel de escucha como la iluminación implican el hemisferio derecho del cerebro, mientras que los cambios en el retraso (Time delay) involucra el hemisferio izquierdo que es menos probable que dé un aumento a los efectos de interacción.

En un estudio llevado a cabo por Hidaka y Beranek [46] se sugiere que las discrepancias entre las medidas y la valoración subjetiva del recinto en una ópera, podían ser explicados por la belleza del edificio. Obviamente la estética es una característica compleja y difícil de medir para cualquier objeto y el espacio. No obstante, ese y otros factores visuales similares, influyen en la espacialidad y otras cualidades podrían ser investigadas aplicando las teorías desarrolladas dentro de las teorías arquitectónicas y la percepción visual.

Una de las conclusiones de este trabajo es que uno puede esperar interacción auditiva y visual en la percepción en los dos entornos: real y simulado. Hasta el momento, nadie ha tratado de forma sistemática organizar y caracterizar estos efectos con el fin de ser capaz de obtener una comprensión más global de la percepción de las habitaciones.

Al realizar pruebas subjetivas sobre las cualidades acústicas de las habitaciones o en la interacción auditiva visual y las técnicas de auralización por ordenador y visualización, podría ser ventajoso comparar con la representación del test en una situación real. En algunos casos puede ser incluso necesario para realizar la prueba mediante el uso de algún tipo de sistema de interacción. El uso de cuestionarios en los experimentos de calidad acústica de la sala puede producir un mayor entendimiento en la relación auditiva entre la simulación y la real.

2.5. Trabajo de investigación de Wang y Vigeant (2006)

Este trabajo llamado “Evaluaciones del resultado del modelado acústico de la sala y la auralización debido a diferentes fuentes de sonido direccionales” [47], consiste en evaluar el resultado del modelado que se ha realizado con ODEON, que es una herramienta de modelado acústico de salas.

Las evaluaciones de la simulación y auralización del programa de modelado acústico de recintos, ODEON, se han llevado a cabo utilizando tres tipos de fuentes direccionales con la misma potencia de sonido: (a) una fuente omnidireccional; (b) tres fuentes con características de forma realista y direccionales basadas en las mediciones de los instrumentos reales (piano, violín y voz de canto); y (c) una fuente radiante artificial, muy direccional.

Los resultados muestran que, objetivamente, las diferencias de SPL (nivel de presión sonora) fueron insignificantes para la mayoría de los casos. Se encontraron algunas diferencias en T30 y C80 (se describen ambos parámetros en el apartado 3.1) entre las fuentes omnidireccionales y direccionales. Sin embargo, los sujetos en el test de escucha no percibieron diferencias correspondientes al comparar las auralizaciones. Los sujetos si diferenciaron significativamente entre auralizaciones de la fuente omnidireccional y la fuente más direccional. Los resultados subjetivos de la comparación de estas dos fuentes, en términos de la reverberación, claridad y realismo fueron en general consistentes con los datos objetivos, aunque la combinación de fuente/receptor y la pista musical tuvieron alguna influencia en los resultados.

En el estudio de evaluación se ha demostrado que los resultados objetivos de una sala acústica simulada por ordenador con ODEON se relacionan bastante bien a los medidos en una sala existente. En consecuencia, la investigación principal evaluó las diferencias en los parámetros objetivos y percepciones subjetivas de las auralizaciones de ODEON utilizando tres tipos de fuentes de dirección con la misma potencia de sonido.

Los sujetos fueron capaces de detectar diferencias en auralizaciones hechas a partir de fuentes omnidireccionales y direccionales, incluidas las diferencias discriminatorias en el realismo, la reverberación y la claridad, pero sólo con la fuente más direccional estudiada en esta investigación.

2.6. Trabajo de investigación de Zielinski y Rumsey (2008)

Este trabajo, llamado “Algunos sesgos encontrados en los test de escucha de calidad de audio modernos” [48],

Los test de escucha son considerados hoy en día como el método más fiable de evaluación de la calidad de audio. Pero estos métodos pueden mejorar, librándose de prejuicios.

El término “sesgo” (bias) se usa en este documento principalmente para describir los errores sistemáticos que afectan a los resultados de test de escucha. Sin embargo, se dan un gran número de ejemplos que demuestran obstáculos en el diseño experimental, aumentando el error aleatorio. Los errores o sesgos aleatorios son comúnmente observados en los resultados de test de escucha, manifestándose por una dispersión de las calificaciones para una condición experimental dada. Además de otros factores experimentales, son predominantemente causados por una inconsistencia de oyentes individuales en la evaluación de la calidad de audio. Es importante mencionar que los errores aleatorios son fáciles de reconocer y fáciles de solucionar.

Por el contrario, los errores sistemáticos son muy difíciles de identificar ya que se representan a sí mismos como un cambio de la información repetido y consistente. Consecuentemente se puede dar continuamente sin ser visto por los investigadores. Una vez que se ha introducido en la información un cierto grado de error sistemático, no pueden alcanzar la media por métodos estadísticos. Por tanto los errores sistemáticos pueden potencialmente llevar a conclusiones engañosas.

En vista de estos hechos, conociendo los sesgos o errores típicos, las maneras en las que se manifiestan, y su magnitud probable puede ser de ayuda a la hora de diseñar el test de escucha. Y es más, un conocimiento de los errores puede no sólo ayudar a minimizar su efecto a través de un diseño experimental cuidadoso, sino que también puede ayudar con la interpretación de la información.

La Tabla. I resume los principales sesgos encontrados. También presenta un pequeño resumen de las posibles manifestaciones de estos errores y da algunos

ejemplos de cómo estos errores pueden ser reducidos. La tabla también incluye referencias a las secciones de este documento donde se describen estos sesgos.

Bias Type	Manifestations	Potential Implications	Examples of Bias Reduction
Recency effect	Result of audio quality assessment is biased toward the quality of that part of an audio excerpt that was auditioned most recently (Sec. 2.1).	Over- or underestimation of audio quality.	Use short, looped recordings with consistent characteristics. Randomize temporal distribution of distortions or use a continuous method of audio quality assessment.
Bias due to equipment appearance, listener expectations, preference, and emotions	Systematic shift of scores. Bimodal or multimodal distribution of data (Secs. 3.1, 3.2).	Over- or underestimation of audio quality. Summarizing results by averaging scores across all listeners may be misleading.	Use blind listening tests. Use a large population of listeners with different backgrounds.
Stimulus spacing bias	Listeners tend to equalize the differences between the scores given to different stimuli regardless of actual differences between stimuli (Sec. 4.1).	Distorted information about genuine differences in quality between stimuli.	Use stimuli that are equally spaced in perceptual domain (impractical). Use systextual design (Sec. 6).
Stimulus frequency bias	Expansion effect in distribution of scores (Sec. 4.2).	Overestimated differences between most frequent stimuli.	Avoid presenting some stimuli more often than others.
Contraction bias	Compression effect in distribution of scores (Sec. 4.3).	Underestimated differences between stimuli.	Familiarize listeners with range of stimuli under assessment. Avoid monadic tests. Use a direct anchoring technique (Sec. 6.2).
Centering bias	Systematic shift of all scores (Sec. 4.4).	Impossible to assess absolute audio quality. Information about rank order is preserved.	Avoid multiple-stimulus tests. Use direct or indirect anchoring techniques. Use systextual design (Sec. 6).
Range equalizing bias	“Rubber ruler” effect. Scores span entire scale regardless of actual range of stimuli (Sec. 4.5).	Impossible to assess absolute audio quality. Information about rank order is preserved.	Avoid multiple-stimulus tests. Use direct or indirect anchoring techniques. Use systextual design (Sec. 6).
Bias due to perceptually nonlinear scale	Nonlinear effect in distribution of scores. For example, some differences between scores can be compressed, others expanded (Sec. 4.7).	Distorted information about genuine differences between stimuli. Information about rank order is preserved. Data should be treated as ordinal (use nonparametric statistical analysis).	Use only two labels at ends of scale with no labels in-between or use a label-free scale. Use technique of indirect scaling (Sec. 6.1).
Interface appearance bias	Quantization effect in distribution of data (Sec. 5).	Distorted information about genuine scores. Data should be treated as ordinal.	Avoid labels, numbers, or tick marks along scale. Use more than 30 listeners.

Tabla. I. Resumen con los principales errores/sesgos encontrados

Como se ha mencionado en 2.1, hay tres tipos de test de escucha que son usados más frecuentemente. Sus características diferentes serán resumidas brevemente. El primer método común, Recomendación ITU-R BS. 1116-1 (4), involucra un paradigma basado en un triple estímulo con una referencia oculta. Esta recomendación se ha descrito en apartado 2.2.

Con el fin de evaluar los sistemas de audio que exhiben niveles intermedios de calidad de audio más eficientemente, un nuevo método fue desarrollado y estandarizado en ITU-R BS. 1534-1 [36]. Este método es conocido bajo el acrónimo MUSHRA (se describe en apartado 3.4.2), y que incluye un “test multiestímulo con

referencia oculta y ancla”. Al contrario que con la ITU-R BS. 1116-1, en un test MUSHRA el oyente tiene acceso a muchos más estímulos, uno de los cuáles es una referencia indicada y el resto de estímulos están bajo valoración.

El tercer método, que es en el uso común estandarizado en ITU-T P.800 [37], se planea para la evaluación de la calidad del discurso. Aunque existen diferentes variantes de este método, en la más básica los oyentes son expuestos secuencialmente a grabaciones de discursos fonéticamente equilibrados (una grabación cada vez), y se les pide que evalúen la calidad de cada grabación usando 5 categorías distintas (Figura 5).

		Score
Excellent	<input type="checkbox"/>	5
Good	<input checked="" type="checkbox"/>	4
Fair	<input type="checkbox"/>	3
Poor	<input type="checkbox"/>	2
Bad	<input type="checkbox"/>	1

Figura 5. Imagen de test con ITU-T P.800

Se mostraba que los sesgos en esquemas de calificación también pueden resultar de un rango similares en un error. Considerando la gran magnitud de sesgos en los esquemas de calificación y el hecho de que los resultados dependen fuertemente en el rango actual y distribución del estímulo, se concluía que los resultados obtenidos en los test de escucha exhiben propiedades relativas. Por la misma razón también se concluyó que podría ser difícil, si no imposible, diseñar un test de escucha cuyo propósito sea obtener niveles absolutos de calidad de audio.

Considerando la naturaleza relativa de los resultados obtenidos en la mayoría de test de escucha, en particular el test estudiado MUSHRA, y como evidencia de que los oyentes no hacen referencias absolutas a los términos verbales a lo largo de la escala, una práctica común de interpretar y presentar los resultados usando referencias a las etiquetas puede ser incorrecto.

El sesgo relacionado con la interfaz del usuario también era discutido. Se mostraba que la apariencia visual de la escala y los objetos gráficos asociados podían llevar a un efecto severo de cuantificación en la distribución de las calificaciones. Esto

puede introducir errores en los resultados y puede prevenir a los investigadores de usar técnicas estadísticas paramétricas para el análisis de información. Algunas recomendaciones tienen como objetivo mejorar la funcionalidad de las interfaces.

2.7. Trabajo de investigación de Paul (2008)

En el proyecto de investigación que ha llevado a cabo Paul, titulado “Evaluación de la calidad de la simulación de tres procedimientos de auralización diferentes” [49], se utiliza un método de comparación en el test de escucha que tiene una interfaz gráfica diferente, incluyendo la situación espacial del oyente y de la fuente sonora. Esta interfaz gráfica (pantalla) se puede ver en la Figura 6 y la escala que se utiliza en el test se puede observar en la Figura 7. En el test de escucha se evalúa si se percibe la fuente sonora donde indica la herramienta del test y cómo es de acertada la situación.



Figura 6. Imagen de la pantalla del test de escucha utilizado



Figura 7. Ejemplo de la escala utilizada en el test de escucha

2.8. Estudio de Martellota (2010)

El trabajo de realizado por Martellota [50] investiga la influencia del tiempo de reverberación en el JND para medidas de claridad teniendo en cuenta tres casos de tiempo de reverberación distintos que varían entre 2s y 6s. La respuesta impulsiva medida en formato B es adecuadamente modificada para introducir los cambios deseados y así poder auralizarlos con dos temas musicales para poder representarlos en un sistema de reproducción de cuatro canales. Los test de escucha estaban basados en comparaciones entre parejas de audios, llevados a cabo para determinar umbrales (limen) subjetivos. Los resultados probaron ser independientes de los temas musicales y mostraron que el JND en el índice de claridad es casi independiente del *Tiempo de reverberación (T)*, mientras que el JND en el tiempo central está significativamente relacionado con el *T* y puede ser asumida como el 85% de la referencia del valor de *Tiempo central (Ts)*. [51]

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo investigar la posible dependencia de JND con *Ts* (y C_{80}) como una función de tiempo de reverberación, habiéndose estudiado el caso particular de grandes recintos reverberantes. Las respuestas impulsivas medidas en formato B fueron usadas como referencia con el fin de recrear las condiciones más reales. Se hicieron pequeñas modificaciones para así producir una variación en los parámetros de claridad sin afectar a otros aspectos acústicos. Las respuestas impulsivas resultantes fueron convolucionadas con material anecoico y reproducidas de nuevo en un sistema de 4 canales. Un variado conjunto de oyentes fue expuesto a parejas de pistas de audio con el fin de decidir si eran idénticos o diferentes (y en el último caso tenían que identificar cuál era más claro entre A y B). Se usaron como referencia tres tipos distintos de tiempo de reverberación respectivamente igual a 2s, 4s y 6s junto con dos tipos distintos de temas musicales.

Con el fin de mejorar el realismo de los test de escucha las respuestas impulsivas medidas (RI) grabadas con un micrófono de formato B (Soundfield MK-V) fueron consideradas como una alternativa válida a las respuestas puramente simuladas dada la buena interpretación que mostraba este método. Las RI de referencia fueron escogidas de un gran conjunto de medidas experimentales recogidas en iglesias, de acuerdo con las características acústicas deseadas. Todas las medidas se llevaron a cabo cumpliendo con el estándar ISO 3382, utilizando una fuente omnidireccional de sonido, junto con un subwoofer adicional para cubrir las frecuencias por debajo de 100Hz.

La parte más delicada en la investigación del JND fue sin duda el test de escucha. Los sonidos fueron presentados por parejas (sonido A y el sonido B difieren en la característica seleccionada) y todos los sujetos tienen que juzgar si hay o no diferencia entre los sonidos.

Las parejas de audios empiezan con una gran diferencia en claridad y las siguientes parejas tienen cada vez menor diferencia de claridad entre ellas. Al final se llega a la paridad total y las parejas suenan igual. Entonces la diferencia de claridad empieza a aumentar hasta que una vez más los oyentes pueden identificar una diferencia entre las parejas de pistas de audio.

En este trabajo se pretende que cuando en el test se recogen diferencias perceptibles a diferencias imperceptibles (series descendientes), se espera que los sujetos perciban las diferencias cuando se da un cambio en el valor del parámetro. Esta primera diferencia de limen (DL-) nombrada Diferencia Apenas Imperceptible es definida como la media de la última diferencia perceptible y de la primera diferencia imperceptible. Entonces los oyentes deberían seguir escuchando sin ser capaces de percibir diferencias hasta que, cuando la diferencia aumenta de nuevo (series ascendentes) de nuevo son capaces de percibir diferencias. La diferencia de limen cuando un oyente empieza a percibir diferencias (DL+) representa el JND y es dado, de nuevo, por la media de la última diferencia imperceptible y de la primera diferencia perceptible. Como consecuencia, para cada oyente el JND resultante es la media de los dos limens (umbrales), dado que el análisis estadístico (reproducido con el *Student t-test*) confirma que los dos conjuntos de respuestas dados por el oyente no son significativamente diferentes.

Con el fin de introducir otro elemento para investigar la fiabilidad de los sujetos al discriminar entre los sonidos reproducidos, pidieron a los oyentes asegurar (si era posible percibir una diferencia) cuál de los dos sonidos era más claro que el otro y cuánto. Esto resultó ser muy útil para centrar la atención de los oyentes en el único aspecto subjetivo donde las diferencias podrían ser encontradas y permitió comprobar la fiabilidad de sus respuestas.

Todo el test era manipulado por los oyentes por medio de una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB, inicialmente basada en LISE desarrollado por Rioux, y modificado con el fin de apoyar el reproductor multicanal, conmutación opcional casi instantánea entre señales, elección del punto de inicio y de fin.

El test de escucha consistía en una sesión de entrenamiento en la cual, para cada uno de los casos de estudio, las señales con las mayores diferencias eran presentadas dos veces con el fin de dejar que el oyente se familiarizara con la interfaz y, sobre todo, con los sonidos. El propósito de la investigación era claramente explicado durante las sesiones individuales y los oyentes eran asistidos durante sus primeras escuchas con el fin de dejarles concentrarse en la claridad acústica y aprender a hacer distinciones entre distintas señales.

Los casos de estudio eran presentados en orden aleatorio para prevenir efectos de fatiga. Además con el fin de prevenir efectos de habituación y anticipación, el número de comparaciones cambiaba para cada caso de estudio.

Aunque los temas musicales más rápidos generalmente determinaron un menor JND para ambos T_s y C_{80} , tales diferencias no eran estadísticamente significativas (al menos en referencia a los temas usados en este documento), sugiriendo que el valor principal de los JNDs correspondiente a distintos temas era un descriptor mejor.

Los resultados estaban basados en las respuestas de 13 oyentes no expertos y mostraron que JND para C_{80} era sustancialmente independientes del tema musical y de T . Inversamente el JND en T_s mostraba una clara dependencia en T , pero independiente del tema musical. Este comportamiento seguía la compleja relación entre T_s y C_{80} de acuerdo con el cuál cuando el tiempo de reverberación, aumenta en la misma variación en C_{80} . Esto determina un cambio que aumenta el T_s . El estudio de la correlación entre JND en T_s y los correspondientes valores del parámetro para cada caso base sugería que el JND debería ser expresado en términos relativos del 8.5% del valor de referencia.

Se sugiere en este trabajo de investigación que son necesarias nuevas investigaciones con el fin de mejorar la investigación de la influencia de tiempo de reverberación en JND para claridad, y para clarificar mejor la influencia de temas musicales tanto en frecuencia como en contenido y ritmo, posiblemente incluyendo mayores muestras de oyentes.

2.9. Trabajo de investigación de Malecki, Wiciak y Wierzbicki (2012)

La tesis de investigación realizada por P. Malecki, J. Wiciak and J. Wierzbicki se llama “Evaluación subjetiva de las auralizaciones multicanal” [52].

Para llevar a cabo la verificación se llevaron a cabo las pruebas psicoacústicas con el uso del método AB. Se utilizaron las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R BS.1284-1) [53] en relación con las pruebas psicoacústicas de fidelidad, pero fueron ligeramente modificadas debido a las características específicas del método de AB. La prueba consta de tres series: a) escuchando en el sistema de sonido envolvente 5.0, b) la escucha en el sistema estereofónico, c) escucha con auriculares.

Ya que no se sabe cuál es la señal de referencia (grabada o simulada), los oyentes evalúan cuánto se distorsionan entre sí las señales de acuerdo con la siguiente escala (1-5): 1- las diferencias son difíciles de notar, 2- las diferencias son debidas al ruido, 3- diferencias pequeñas basadas en la calidad del sonido, 4- grandes diferencias de sonido, 5- muy grandes las diferencias.

3

Base teórica

3.1. Parámetros acústicos asociados a aspectos subjetivos de los oyentes

Los estudios subjetivos de las características acústicas de los recintos han demostrado que varios parámetros acústicos objetivos se pueden obtener a partir de las medidas de las respuestas impulsivas y están relacionadas con los aspectos subjetivos particulares del carácter acústico de un recinto. Mientras que el tiempo de reverberación es una descripción fundamental del carácter acústico de un recinto, la suma de valores de estos otros parámetros ofrece una descripción más completa de las condiciones acústicas en dicho recinto. Estas magnitudes están limitadas a las que se han considerado subjetivamente importantes (hay más parámetros acústicos objetivos, pero no tienen una relación con aspectos subjetivos) y que se pueden obtener directamente de las respuestas impulsivas integradas. El tiempo de reverberación y los parámetros que se describirán en este apartado, pueden verse influenciados por la presencia de público en el recinto.

Existen cinco grupos (relaciones entre parámetro objetivo y aspecto subjetivo) (véase la Tabla. II). Dentro de cada grupo, a menudo se encuentra más de una medida, pero los valores de las diferentes magnitudes en cada grupo están, por lo general, estrechamente relacionados entre ellos. De esta forma, cada grupo contiene un número de medidas aproximadamente equivalentes y no es necesario calcular los valores de todas ellas; sin embargo, se debe incluir al menos una magnitud de cada uno de los cinco grupos.

Aspecto subjetivo del oyente	Magnitud acústica	Promediado en frecuencia de número único ^a Hz	Umbral diferencial (<i>Just noticeable difference</i> , JND)	Rango típico ^b
Nivel sonoro subjetivo	Fuerza sonora, G , en decibelios	500 a 1 000	1 dB	-2 dB; +10 dB
Reverberación percibida	Tiempo de reverberación inicial (<i>Early decay time</i> , EDT) en segundos	500 a 1 000	Rel. 5 %	1,0 s; 3,0 s
Claridad del sonido percibida	Claridad, C_{80} , en decibelios Definición, D_{50} Tiempo central, T_3 , en milisegundos	500 a 1 000 500 a 1 000 500 a 1 000	1 dB 0,05 10 ms	-5 dB; +5 dB 0,3; 0,7 60 ms; 260 ms
Ancho aparente de la fuente (<i>Apparent source width</i> , ASW)	Fracción de energía lateral precoz, J_{LF} o J_{LFC}	125 a 1 000	0,05	0,05; 0,35
Envolvente del oyente (<i>Listener envelopment</i> , LEV)	Nivel sonoro lateral final, L_J , en decibelios	125 a 1 000	Desconocido	-14 dB; +1 dB
^a El promediado en frecuencia de número único indica la media aritmética para las bandas de octava, excepto para L_J , que se debe promediar energéticamente [véase la ecuación (A.17)].				
^b Valores promediados en frecuencia en posiciones únicas en salas de conciertos y en salas polivalentes vacías hasta 25 000 m ³ .				

Tabla. II. Magnitudes acústicas agrupadas según los aspectos del oyente. (Tabla A.1 de la UNE-EN ISO 3382-1 [35])

Además de describir estos parámetros acústicos que se describen en la Norma UNE- EN ISO 3382-1 se va a detallar la magnitud más importante que caracteriza a un recinto, el Tiempo de reverberación.

3.1.1. Tiempo de reverberación

El Tiempo de reverberación es la duración requerida para que la densidad de la energía acústica media en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado. El tiempo de reverberación se puede evaluar basándose en un rango dinámico inferior a 60 dB y extrapolado a un tiempo de decrecimiento de 60 dB. Si el Tiempo de reverberación se obtiene del espacio temporal en el que la curva de decrecimiento alcanza primero 5 dB y 25 dB por debajo del nivel inicial, se define como T_{20} . Si se utilizan los valores de decrecimiento entre 5 dB y 35 dB por debajo del nivel inicial, se anota como T_{30} .

Es posible medir el tiempo de reverberación a partir de la curva energía-tiempo. Sin embargo, como el ruido de fondo suele ocultar la parte final de dicha curva, en la

práctica se mide el T20 o T30 aproximando su valor al tiempo de reverberación, multiplicando dichos tiempos por 3 ó 2, respectivamente.

Esta curva de decaimiento energético varía espacialmente, siendo distinta en cada punto del recinto. Además cambia con la frecuencia. Por ello, se miden los tiempos de reverberación de varias posiciones, que serán promediados para obtener el Tiempo de reverberación del recinto. Se realiza el promediado, en general, para las bandas de octava centradas en las frecuencias 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz. Puede ser habitual prescindir de la primera y última banda, en especial, para los recintos en los que su uso principal va a ser para la palabra.

Ya se ha visto cómo se mide o evalúa el tiempo de reverberación, pero también podemos calcular el valor del tiempo de reverberación mediante fórmulas basadas en la teoría estadística (Sabine, Arau, Eyring, etc). Pero estas fórmulas tienen inconvenientes, como que sólo sean válidas para condiciones de campo difuso (distribución homogénea de energía en el recinto o que la propagación del sonido se produce de igual forma por todo el recinto) o que su valor sea independiente de la posición del receptor.

La fórmula más conocida y usada es la de Sabine:

$$T = \frac{0,161V}{A}$$

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots$$

Se puede decir que el tiempo de reverberación depende del volumen del recinto y de la absorción de los materiales y del aire. Así, cuanto mayor sea la absorción, menor será TR y cuanto mayor volumen tenga la sala, mayor será TR. También es dependiente de la frecuencia como antes se comentó, así que se deberá calcular para las distintas bandas de octava.

Relacionados con el tiempo de reverberación aparecen tres parámetros: inteligibilidad (se usa con la palabra), calidez acústica y brillo (destinados a usarse para música).

3.1.2. Fuerza sonora (G)

La fuerza sonora se puede medir utilizando una fuente sonora omnidireccional calibrada, y es la relación del cociente logarítmico de la energía acústica (presión

acústica cuadrática e integrada) de la respuesta impulsiva medida y la respuesta medida en campo libre a una distancia de 10 m de la fuente sonora. Se puede decir que es la relación entre el nivel de presión sonora total (SPL) en un punto del recinto, donde se radia una fuente omnidireccional, y el SPL a 10 metros de la misma fuente en condiciones de campo libre es:

$$G = SPL - SPL(10\text{ m})_{c. libre}$$

3.1.3. Early Decay Time (EDT)

El tiempo de reverberación inicial (EDT) se debe evaluar a partir de la pendiente de las curvas de respuesta impulsiva integrada (como el tiempo de reverberación convencional). La pendiente de la curva de decrecimiento se debería determinar a partir de la pendiente de la línea de regresión lineal “con menor ajuste”, correspondiente a los 10 primeros decibelios del decrecimiento (entre 0 dB y -10 dB). Los tiempos de reverberación se deberían calcular a partir de la pendiente, como el tiempo requerido para un decrecimiento de 60 dB. Se multiplicaría por tanto por seis.

Se deberían calcular tanto el tiempo de reverberación inicial (EDT) como el TR (tiempo de reverberación convencional). El EDT es subjetivamente más importante y está relacionado con la reverberación percibida (subjetiva), mientras que TR está relacionado con las propiedades físicas del auditorio (reverberación real-objetiva).

Un menor valor de EDT respecto al TR, indicará que la sala resultará, a nivel subjetivo, más apagada de lo que se deduciría del valor de TR.

3.1.4. Relaciones entre energía precoz y la energía tardía

Aunque existen varios parámetros que se pueden utilizar en este grupo, uno de los más simples es la relación entre las energías acústicas precoces y tardías. Se puede calcular para un límite temporal precoz de 50 ms o de 80 ms, dependiendo de si los resultados se refieren a las condiciones de las salas de conferencia o de conciertos, respectivamente. Utiliza la fórmula siguiente:

$$C_{te} = 10 \log \frac{\int_0^{te} p^2(t) dt}{\int_{te}^{\infty} p^2(t) dt} dB$$

Estos parámetros sirven para medir la proporción efectiva de las primeras reflexiones. Si el valor de $t_e=50$ ms se denomina claridad de la voz (C_{50}) y se usa para recintos dedicados a las palabras. Si por el contrario $t_e=80$ ms, se le denomina claridad musical (C_{80}) y es usado para recintos destinados a la música.

Como valor representativo se utiliza el "Music Average", que se calcula así:

$$C_{80}(\text{Music Average}) = \frac{C_{80}(500 \text{ Hz}) + C_{80}(1 \text{ KHz}) + C_{80}(2 \text{ KHz})}{3} (dB)$$

Este parámetro se utiliza para valorar el grado de separación que se puede apreciar entre los distintos sonidos de una composición musical.

También es posible medir una relación entre la energía acústica precoz y la energía acústica total. Por ejemplo, D_{50} (definición) se utiliza algunas veces para las condiciones de la palabra. La ecuación de este parámetro es la siguiente:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,050} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} dB$$

D_{50} guarda una relación con respecto C_{50} . Dicha relación se expresa en la siguiente ecuación:

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) dB$$

Como opción final en este grupo de medidas, el tiempo central, T_s , que es el tiempo del centro de gravedad de la respuesta impulsiva cuadrática, se puede medir, en segundos mediante la siguiente fórmula:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

El tiempo central evita el recurrir a una división discreta de la respuesta impulsiva en periodos precoz y tardío. Sirve para medir el grado de nitidez del sonido. De modo que un aumento de t_s indicará un aumento de la nitidez percibida en la posición donde se ha calculado.

Las magnitudes que han aparecido en este apartado y pertenecen a este grupo, se refieren a la definición percibida, a la claridad o al equilibrio entre la claridad y la reverberación, así como de la inteligibilidad de la palabra.

Para definir la inteligibilidad de la palabra en recintos destinados a la palabra, también se puede determinar (a veces es necesario) midiendo otros parámetros. La magnitud principal es el índice de transmisión de la palabra (STI). Otros parámetros para evaluar la inteligibilidad son el %Alcons y el Rasti.

El índice de transmisión de la palabra (STI significa "Speech Transmission Index") fue definido por Houtgast y Steeneken en la primera mitad de la década de los 70. Puede tomar valores comprendidos entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima). Su cálculo es complejo, por lo cual, no se abordará en este proyecto.

3.1.5. Mediciones de la energía lateral precoz

La fracción de energía, J_{LF} , que llega lateralmente dentro de los 80 ms iniciales, se puede medir a partir de las respuestas impulsivas de un micrófono omnidireccional y de un micrófono bidireccional de respuesta en ocho, mediante la ecuación:

$$J_{LF} = \frac{\int_{0,005}^{0,080} p_L^2(t) dt}{\int_0^{0,080} p^2(t) dt}$$

Se pretende que el cero del micrófono bidireccional (con diagrama polar en forma de ocho) apunte al centro de la escena o a cada posición de la fuente, de manera que este micrófono reaccione ante todo a la energía acústica procedente de las direcciones laterales y que no se vea influido de manera significativa por el sonido directo.

Dado que la directividad del micrófono bidireccional tiene esencialmente forma de coseno y que los valores de presión están elevados al cuadrado, la fracción de energía lateral obtenida para una reflexión individual varía con el cuadrado del coseno del ángulo de incidencia de la reflexión con respecto al eje de sensibilidad máxima del micrófono.

Como alternativa, se puede utilizar una aproximación con la ecuación que aparecerá a continuación, para la obtención de las fracciones de energía lateral, J_{LFC} .

Con contribuciones quedarían únicamente con el coseno del ángulo, considerada subjetivamente más precisa.

$$J_{LFC} = \frac{\int_{0,005}^{0,080} |p_L^2(t) p(t)| dt}{\int_0^{0,080} p^2(t) dt}$$

Las fracciones de energía lateral están relacionadas con el ancho percibido de la fuente sonora.

3.1.6. Mediciones de la energía lateral tardía

El nivel relativo de la energía acústica lateral tardía, L_J , se puede medir utilizando una fuente sonora omnidireccional calibrada, a partir de la respuesta impulsiva obtenida en el auditorio, por medio de un micrófono bidireccional (con diagrama polar en forma de ocho) con la ecuación:

$$L_J = 10 \lg \frac{\int_{0,080}^{\infty} p_L^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} dB$$

Se pretende que el cero del micrófono bidireccional apunte al centro de la escena o exactamente a cada posición de la fuente, de manera que este micrófono reaccione ante todo a la energía acústica procedente de las direcciones laterales y que no se vea influido de manera significativa por el sonido directo.

La energía lateral tardía promediada en frecuencia, $L_{J,avg}$, se calcula a partir de:

$$L_{J,avg} = 10 \log \left[0,25 \sum_{i=1}^4 10^{L_{Ji}/10} \right] dB$$

La energía acústica lateral tardía está relacionada con la envolvente o la espacialidad percibida por el oyente en el auditorio.

3.2. JND

El JND o Just Noticeable Difference se denomina a la mínima diferencia perceptible, a la más pequeña variación que el oído humano puede discriminar entre dos estímulos diferentes.

La Diferencia Apenas Perceptible (JND) se puede definir como el cambio apreciable más pequeño en un parámetro medible dado y es un importante factor que correlaciona la dimensión subjetiva de la percepción del sonido con sus medidas objetivas. El JND mide la sensibilidad de los oyentes a un cambio en un parámetro dado. Como consecuencia, una estimación precisa del JND es de vital importancia para un gran número de aplicaciones, como para determinar la precisión de una medida, evaluando la exactitud de predicción del software, o para encontrar la resolución espacial requerida de una tabla de medidas capaz de describir las variaciones subjetivas del campo sonoro en una habitación. Dado el gran número de parámetros acústicos que pueden ser medidos hoy en día y su extendido uso, es particularmente útil conocer perfectamente los valores de JND para cada una de ellas.

Los primeros estudios en este campo fueron llevados a cabo en referencia al Tiempo de Reverberación (T) según lo informado por Cremer y Müller, mostraron que para los valores de T por encima de 0'6 s el JND era alrededor del 4% del valor observado mientras que por debajo de 0'6 s la variación relativa del JND era estrictamente dependiente de los valores de T , mostrando una tendencia en forma de U con valores altos en un corto T , alcanzando un mínimo (de alrededor de un 4%) entre 1 s y 2 s, y entonces aumentando de nuevo hasta el 5 % cuando T se acercaba a 6 s. Estudios más recientes basados en la reproducción binaural realista de campos sonoros, mostró que debajo de 0'6 s la diferencia de limen era 0.042 ± 0.015 s, el doble del valor que resultó en estudios previos. Sin embargo, las variaciones más importantes aparecieron como una función del programa utilizado, sugiriendo que la naturaleza transitoria de las señales puede explicar dicha variación.

Reichardt, utilizando campos sonoros simulados, estudió la diferencia de limens para el retardo y el nivel de reflexiones individuales en una respuesta impulsiva. Estos resultados podrían ser convertidos en JND para claridad pero como éstas se refieren a un impulso de respuesta que no ha sido correctamente estimulado en condiciones de sala de conciertos, no se consideraron como significativos.

Después de esto, Cox llevó a cabo una nueva serie de experimentos, también basados en campos sonoros simulados, pero utilizando una secuencia de reflexiones tempranas y condiciones acústicas de referencia más parecidas a las observadas en salas de concierto ($T=2.1$ s). Éstas otorgaron una discusión más detallada de JND para parámetros de claridad y para impresión espacial, también teniendo en cuenta el efecto ligado a diferentes temas musicales. La diferencia de limen resultante para el tiempo central (T_s) fue, de media, 8.6 ± 1.6 ms para una referencia de valor de alrededor de 80ms. También encontraron una diferencia importante como una función del tema musical, con mayor valor (11.4 ± 2.7 ms) correspondiente a un tema de movimiento lento más ligado, y un valor casi reducido a la mitad (5.7 ± 0.9 ms) cuando el tema era más rápido. Con esta medida y teniendo en cuenta la relación teórica, también dedujeron el correspondiente JND del índice de claridad (C_{80}) el cuál era de 0.92 ± 0.22 dB para el tema de movimiento lento y de 0.44 ± 0.07 dB para el tema más rápido, resultando una media de 0.67 ± 0.13 dB.

Nuevas investigaciones llevadas a cabo por Bradley, mayoritariamente centradas en la claridad del discurso (C_{50}), consideraron 3 tiempos de reverberación diferentes, variando desde 0.5s hasta 2.0s, mostrando que las variaciones correspondientes en el JND no eran estadísticamente significativas, por lo tanto concluyeron que bajo las condiciones observadas, el JND para C_{50} era independiente del tiempo de reverberación y era 1.1 dB. El correspondiente JND para parámetros relacionados, como C_{80} , era igual a 0.9 dB, mostrando un acuerdo con el valor descubierto por Cox, aunque la estructura temporal del discurso era más comparable con el tema de movimiento rápido, sugiriendo que la similitud era sólo aparente.

Okano intentó arrojar más luz a la percepción de diferencias en atributos de campos sonoros relevantes en relación a la variación de intensidad de reflexiones tempranas, considerando distintos campos sonoros típicos de salas de concierto. Aunque esta investigación estaba basada en las respuestas de tan sólo 3 oyentes, los resultados mostraron, entre otras cosas, que se requieren mayores variaciones de claridad (igual a 1.5 ± 1.0 dB) con el fin de ser percibidas subjetivamente en comparación con estudios previos. Además el mismo estudio mostró que variando la intensidad de una reflexión dada puede ser más fácilmente detectada subjetivamente en términos de amplitud o volumen en lugar de claridad. Esto sugiere que variando una sola reflexión puede ser contraproducente al investigar JND para medidas de claridad.

Recientemente Ahearn llevó a cabo un estudio preliminar sobre el JND para C_{80} el cuál investigaba distintos tiempos de reverberación (1.6 y 2.1s), distintos temas musicales y un gran número de sujetos. Los resultados probaron ser significativos sólo cuando una selección de los participantes de más confianza eran considerados y dada una media de JND de alrededor de 1.6 dB, con variaciones significativas como una función de temas musicales y tiempo de reverberación.

Todos los estudios arriba mencionados usaron campos sonoros simulados y estaban centrados en condiciones acústicas típicamente encontradas en salas de concierto o auditorios, teniendo en cuenta salas con tiempo de reverberación generalmente por debajo de 2.1s.

El estudio de Bradley sugería que debajo de ese límite no debería haber dependencia del JND como una función del tiempo de reverberación de la sala. Sin embargo, en grandes salas reverberantes como iglesias, el tiempo de reverberación es probable que esté por encima de ese límite y que cuando T cambia significativamente la relación entre C_{80} y Ts también cambia llevando a posibles discrepancias entre JND para distintos parámetros. De hecho, una variación de 1dB en C_{80} corresponde a un cambio de 6ms cuando $T=1s$, el cuál aumenta gradualmente hasta 32ms cuando $T=8s$. Esto significa que cuando el tiempo de reverberación aumenta, aunque JND se mantenga el mismo para C_{80} , es probable que cambie para Ts , o viceversa.

Parameter	Definition (ISO 3382-1, 2009) and (IEC 60268-16, 2003) for STI	Subj. limen
T_{30} (s)	Reverberation time, derived from -5 to -35 dB of the decay curve	5 % rel.
EDT (s)	Early decay time, derived from 0 to -10 dB of the decay curve	5 % rel.
D_{50} (%)	Deutlichkeit (definition), early (0 - 50 ms) to total energy ratio	5 % abs.
C_{80} (dB)	Clarity, early (0 - 80 ms) to late (80- ∞) energy ratio	1 dB abs.
Ts [ms]	Centre time, time of first moment of impulse response or gravity time	10 ms abs.
G (dB)	Sound level related to omni-directional free field radiation at 10 m distance	1 dB abs.
LF (%)	Early lateral (5 - 80 ms) energy ratio, \cos^2 (lateral angle)	5 % abs.
STI (RASTI)	Speech Transmission Index	0.03 abs.

Tabla. III. Extraída de la Norma ISO/DIS 3382 [41] y de los libros de Bork [54] y Bradley [55]

Los limen subjetivos (o mínima diferencia perceptible - JND), que aparecen en la tabla anterior Tabla. III, de los parámetros de acústica de salas deberían dar una buena sugerencia en cuanto a la precisión deseable. Si el error entre lo "real" (medido con cierta precisión) y el parámetro acústico de la sala simulada es menor que el limen

subjetivo, entonces no hay ninguna diferencia perceptible y el resultado es realmente tan bueno como puede ser, por lo que no tendría sentido buscar resultados más precisos. En muchos casos será difícil o incluso imposible obtener resultados de esta precisión. Una precisión pobre, probablemente también sea satisfactoria para la mayoría de los propósitos.

3.3. Auralización

La auralización es la técnica para la creación de archivos de sonido audibles desde datos numéricos (simulados, medidos o sintetizados).

Los pasos necesarios para la auralización se realizan mediante el uso de herramientas del campo de procesamiento de señales. La función de transferencia que se ha obtenido por simulación o medición, se puede interpretar como la función de transferencia del filtro. El procedimiento de convolución es la base de análisis de la señal y el procedimiento. Se relaciona con los sistemas lineales invariantes en el tiempo.

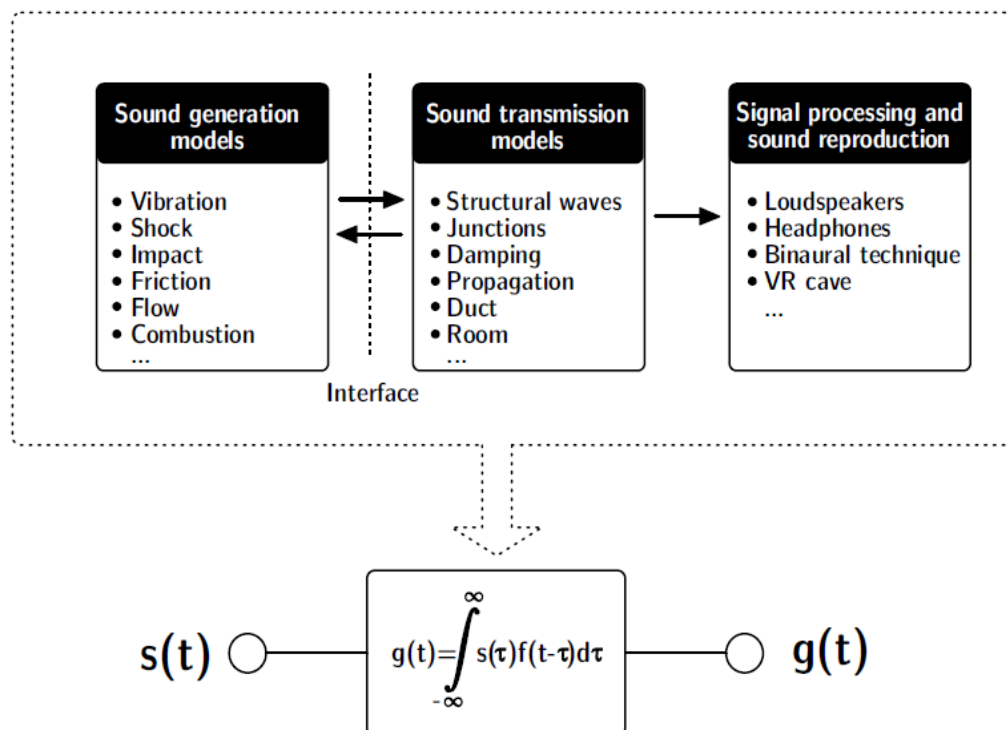


Figura 8. Esquema de la auralización y convolución según Vörlander, extraído de su libro "Auralization"[56]

Según Vörlander [56], el principio de la auralización se ilustra en la Figura 8. Se muestran los elementos básicos de generación, transmisión, procesado y reproducción del sonido.

Si la señal de origen y la función de transferencia del sistema (respuesta al impulso) se obtienen por separado, la señal de salida resultante puede ser calculada por convolución (Figura 8). La convolución se puede procesar de varias maneras, ya sea directamente en el dominio del tiempo mediante el uso de filtros FIR o mediante el uso de la convolución FFT. En este último caso, sin embargo, se debe tener en cuenta que la FFT requiere longitudes de los bloques fijos y se relaciona con señales periódicas.

Además, la técnica de convolución o "filtrado" (IIR, FIR) es válida para sistemas LTI (sistemas lineales e invariantes con el tiempo) exclusivamente. Para los sistemas variables en el tiempo, la señal de excitación debe ser procesada. En este caso, los filtros pueden ser adaptados durante el procesamiento y la decoloración debe estar utilizada para mover de marco a marco.

También Förster en su libro "*Auralization in room acoustics*" [57], habla sobre el concepto de la auralización y sobre cómo se realiza dicho proceso en distintas salas acústicas.

El concepto de la auralización es un concepto relativamente reciente dentro de la historia de la Acústica, pues fue introducido en 1990 por Mendel Kleiner [58], profesor e investigador de la Universidad Tecnológica de Chalmers (Göteborg, Suecia). Lo definió como: *proceso de presentación audible, por modelización física o matemática del campo sonoro de una fuente en un espacio, de tal forma que simulan la experiencia sonora en una determinada posición en el espacio modelado*. Y se utiliza como complemento de los parámetros acústicos, para analizar la calidad acústica de una sala.

La auralización se puede ver como el proceso mediante el cual se simula la sensación de escuchar un sonido tridimensional en el interior de una sala, para una posición dada del oyente y de la(s) fuente(s), con unas señales sonoras determinadas. Para este proceso se parte de una pista de audio grabada en una sala anecoica, la cual no incorpora reflexiones debido a las características acústicas de dicha sala. A esta señal de audio se la realiza una transformación, llamada convolución, al pasar a través de un sistema especial, obteniéndose a la salida una señal binaural. Esta señal tiene una componente que será aplicada al oído izquierdo (Y_L) y otra al oído derecho

(Y_R). El sistema modela el proceso que experimenta una señal sonora desde que es emitida por una fuente hasta que llega al oyente en un determinado recinto. El sistema depende de dos partes, principalmente. Se puede apreciar en la Figura 9 que aparece en [59]:

- La influencia del recinto, reunida en la Respuesta de la sala.
- La influencia del individuo, recogida en los filtros HRTF.

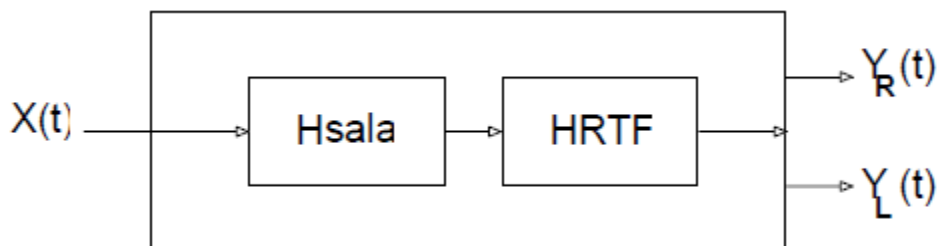


Figura 9. Esquema del proceso de Auralización, extraído de [59]

La Respuesta de la sala H_{SALA} , añade los fenómenos típicos de la propagación del sonido en el interior de un recinto, apoyándose en las teorías geométrica, estadística y ondulatoria, para simular las primeras reflexiones, la reverberación y los modos propios de la sala. Cada recinto y cada punto tiene una respuesta de sala diferente, ya que es dependiente de la situación dentro de la sala y de las características acústicas del recinto.

Los filtros HRTF permiten simular las sensaciones de cómo percibimos los sonidos las personas por los oídos, y los procesos de la percepción binaural. Estos filtros se han estudiado realizando medidas, en condiciones de campo sonoro anecoico, de la señal sonora que llega al tímpano cuando se excitan por un determinado sonido.

La señal de salida de la auralización del sistema, puede ser una pista monoaural o binaural. Será monoaural ($y(t)$) cuando no se consideran los filtros HRTF en el sistema. Y será binaural ($y_R(t)$, $y_L(t)$) si la respuesta de la sala se trata para tener en cuenta el efecto de percepción auditiva de los oídos (más realista)

La auralización se puede realizar por dos procesos, dependiendo de cómo se aplique la respuesta impulsiva al sistema. Puede ser por convolución o mediante una unidad de reverberación digital. La más importante es la primera, y en la Figura 10 se muestra un esquema de la auralización procesada mediante convolución.

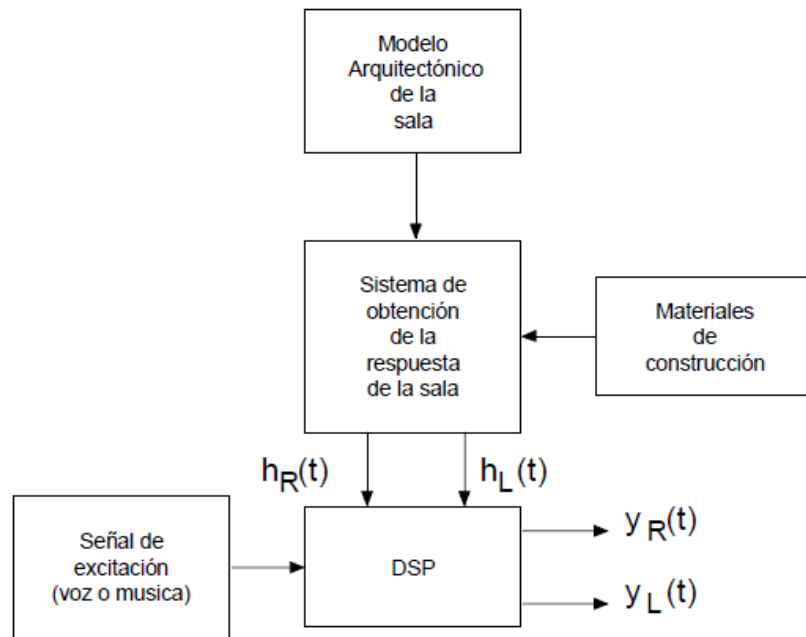


Figura 10. Esquema de auralización por convolución, extraída de [59]

3.3.1. Auralización en Odeón

Odeón [60] realiza una auralización binaural (la señal auralizada tiene dos componentes, canal izquierdo y derecho) mediante la convolución de una señal de excitación con la respuesta impulsiva del canal izquierdo y del canal derecho, respectivamente.

La señal de excitación es una señal de voz o de música, obtenida generalmente mediante una grabación anecoica. Está almacenada en un fichero tipo 'Wave' .wav y podemos escogerla del directorio proporcionado por Odeón "Wave signal file Directory", o bien, añadir cualquier pista de audio propia.

La respuesta impulsiva binaural (BRIR) se obtiene al ejecutar "Single Point Response", previamente seleccionada la opción de auralización. Como se comentó anteriormente, el BRIR engloba toda la información referente a la sala, y además, las características del oyente.

Esta última información es recogida por los filtros HRTFs o "Head Related Transfer Functions". Estos filtros describen el fenómeno de difracción que experimentan la cabeza, los hombros y el torso de una persona al recibir un impulso y que contribuyen a mejorar la señal recibida por ambos oídos. Así por cada muestra de

la señal de entrada, obtendremos dos respuestas impulsivas, una que llega al oído izquierdo y otra al oído derecho, que tendrán una duración aproximada de 2 o 3 ms. Esto equivale a 100 muestras cuando la frecuencia de muestreo es de 44100 Hz.

Los HRTFs son distintos para cada persona. Odeón contiene un conjunto de HRTFs para diversos ángulos de incidencia y con unos parámetros predefinidos. Sin embargo, podemos crear nuevos filtros a partir de éstos, modificando sus parámetros de filtrado o medir nuestros propios HRTFs e importarlos mediante el programa adjunto a Odeón "DirectivityFileUtility". Estos filtros importados deben filtrarse en bandas de octava para que el tiempo de cálculo no sea excesivo.

Además, dependiendo de los auriculares o altavoces que se vayan a utilizar, se puede seleccionar el tipo o modelo de estos que se va a usar y realizarse la compensación de auriculares por la respuesta en frecuencia de éstos.

3.4. Test de escucha

Para la realización de la evaluación subjetiva se necesita el uso de una herramienta de test de escucha para poder desarrollar el experimento subjetivo.

Los experimentos subjetivos se caracterizan, en primer lugar, por la manipulación y el control real de las condiciones del experimento y, en segundo lugar, por los datos cuantitativos procedentes de observadores humanos.[61][62][63][64]

En el capítulo 2 se han evaluado y descrito los trabajos de investigación desarrollados a lo largo de las últimas décadas en el campo de estudio de este proyecto. En algunos de estos trabajos, se han desarrollado y utilizado test de escucha para llevar a cabo diferentes tipos de evaluaciones subjetivas. En los apartados del capítulo 2 se han especificado recomendaciones a la hora de realizar un test de escucha (por ejemplo, apartado 2.2 y 2.6) y ejemplos de ejecución de test de escucha en determinados proyectos de investigación (por ejemplo, apartados 2.3, 2.7 y 2.8). Se ha podido también evaluar distintas herramientas de test de escucha utilizadas en estas investigaciones u otras, llegando a la conclusión de que las dos herramientas que más se han utilizado y que más pueden ayudar para el desarrollo de este proyecto son: WHISPER y MUSHRA. En los apartados siguientes se realizará una descripción sobre la utilidad de ambas herramientas y las opciones de evaluación y resultados que permite.

3.4.1. WHISPER

WHISPER es una herramienta de comandos implementada en MATLAB para llevar a cabo test de escucha en el campo de la investigación de la percepción auditiva. Aunque su apariencia sea de software compacto, la mayor parte de su manipulación se puede hacer mediante un sistema de interfaz de usuario de gráficos coherentes (GUI). El objetivo de WHISPER es dotar al experimentador de una herramienta que pueda ser usada para automatizar los procesos de test de escucha con respecto a la interacción tanto con el sujeto como con el entorno de reproducción. Los patrones de acciones que son reproducidos durante éste para conseguir la obtención de datos empíricos son definidos por ciertos ensayos de procedimientos, muchos de los cuáles son implementados en este programa.

Normalmente la situación de la investigación de la percepción auditiva consiste en un experimentador que quiere llevar a cabo una serie de test de escucha aplicando el mismo procedimiento a distintos sujetos, con algunas de las reproducciones llevadas a cabo en condiciones experimentales parcialmente distintas a las otras. En este caso estas reproducciones que están bajo condiciones distintas necesitan otras especificaciones un poco distintas que deben ser efectuadas antes. Estos parámetros de procedimiento no tienen por qué ser explicados antes de la reproducción de cada parte, puesto que muchas de ellas son prácticamente iguales. Para simplificar el proceso de manipulación en este aspecto, el sistema de interfaz del usuario de WHISPER se diseña de una manera en la que las reproducciones del test que pertenecen a un tema de investigación pueden ser controladas desde un punto del sistema. Con este propósito el programa dota al administrador o experimentador de toda la información, incluyendo la información empírica obtenida durante las reproducciones dentro de un ambiente virtual llamado *serie de tests*, que está estructuralmente representado por un conjunto de archivos de datos. La información empírica es exportada a SPSS y será simplificada, puesto que el software genera de manera automática un archivo de texto en el formato adecuado.

WHISPER permite reproducir más de un subtest en sucesión mientras otro test se lleva a cabo, con alguno de ellos enlazados a distintos procedimientos de test. Esta característica intenta dar a conocer los requerimientos individuales de temas específicos de la investigación experimental. Es aconsejable llevar a cabo un

experimento de familiarización o entrenamiento justo antes de empezar el test de escucha actual.

WHISPER permite la reproducción de tres tipos distintos de procedimiento. Cada uno de ellos será comentado a continuación, describiendo cada uno brevemente con las características implementadas y algunas referencias literarias que pueden resultar útiles. Además, algunas de estas características son descritas con más detalle en la tesis de Simon Ciba [65][66].

1. **Procedimiento psicofísico adaptado:** un grupo de procedimientos psicofísicos que tienen como objetivo dotar de estimaciones eficientes de un sólo punto en una función psicométrica que es llamada *umbral psicofísico*. Esto se consigue al adaptar la intensidad de los estímulos que serán mostrados en las anteriores respuestas de los sujetos. Con este mecanismo de adaptación y el método para estimar el rendimiento final, podemos distinguir muchos procedimientos. La implementación actual contiene un procedimiento de escalera simple y transformado con las reglas de adaptación de 1-abajo/1-arriba, 2-abajo/1-arriba, 3-abajo/1-arriba, bisecciones en forma de escalón y después inversiones predefinidas y un cálculo del umbral estimado al hacer la media de las intensidades de los estímulos en un número definido de las últimas inversiones. Y es más, el Parámetro de Estimación del Test Secuencial (PEST), una versión modificada de éste por FINDLAY referida como un PEST más virulento y con mejor probabilidad o procedimiento bayesiano respectivamente, el cual se basa en el mejor PEST pero incluye algunas extensiones tomadas de muchos procedimientos similares, que pueden ser aplicados. El software permite emplear estos procedimientos en tareas de detección y discriminación utilizando la Elección Forzada de la Alternativa n (nAFC) paradigma para $n=2$, 3 ó 4. Es posible intercalar un número arbitrario de reproducciones usando el mismo paradigma de respuesta.
2. **Técnica del cuadro de repertorio (RGT):** una combinación de una obtención cualitativa y un procedimiento de escalada directo. Para ésta última se eligieron diferentes posibilidades (dicotomización, ranking, método de clasificación). Durante la primera parte del procedimiento de estímulo (llamados elementos) son combinados en grupos de tres (llamados tríadas) y presentados al sujeto que se supone que tiene que distinguir las similitudes y contrastes. El resultado

de la comparación de cada tríada es una pareja de expresiones verbales que representan los descriptores de punto final de un atributo bipolar definido como una *construcción*. En la segunda parte los elementos son clasificados en escalas que son formadas por las *construcciones* obtenidas de la primera parte. Las escalas pueden ser también discontinuas usando botones de radio, o continuas usando deslizadores. La formación de tríadas puede ser llevada a cabo manualmente por el experimentador o automáticamente por el programa creando una variación completa. Además el orden de presentación de las tríadas y elementos pueden también ser definidos por el usuario o generados aleatoriamente.

3. **Semántica diferencial:** un procedimiento de escalación directa o más definido más preciso como un procedimiento de clasificación. Los estímulos (llamados *objetos*) son evaluados en un conjunto de escalas de clasificación que pueden ser discontinuos usando botones de radio o también continuos usando deslizadores. En esta implementación el orden de presentación de los objetos puede ser definida por el experimentador o puede ser generado aleatoriamente.

3.4.2. MUSHRA

MUSHRA significa “test de multiestímulo con referencia oculta y ancla”. Sigue la recomendación ITU-R BS.1534.1 [67] para el asesoramiento subjetivo del nivel de calidad intermedia de sistemas codificados. En otras palabras, los test de escucha MUSHRA permiten la comparación de sonidos de referencia de alta calidad con muchos sonidos de prueba de baja calidad.

Un test de escucha bien concebido empieza con una cuidadosa selección del material del test. Los tests de escucha MUSHRA son especialmente adecuados para comparar sonidos de referencia de alta calidad con sonidos de prueba de baja calidad. De este modo los ítems del test donde los sonidos de prueba tienen una calidad casi transparente o donde los sonidos de referencia tienen una calidad baja no deberían ser usados. Todos los sonidos de referencia y los sonidos de prueba deben ser normalizados al mismo nivel subjetivo de volumen. También la cantidad de material del test debe ser lo suficientemente pequeña para que los sujetos puedan realizar el test dentro de un tiempo razonable. La selección de los sujetos también es importante para

ciertos tipos de experimentos, donde los resultados pueden variar dependiendo de si los sujetos son especialistas o no.

El test de escucha en sí se divide en dos fases sucesivas: la fase de entrenamiento y la fase de evaluación.

La fase de entrenamiento consiste en explicar a los sujetos cuáles son los principios de los test de escucha MUSHRA y qué deben hacer. Un ejemplo de texto que puede ser distribuido a los sujetos para este objetivo está disponible en [67]. Tras esta explicación cada sujeto escucha todos los sonidos que deberá clasificar en la fase de evaluación, prestando atención a los distintos tipos y niveles de deficiencias que pueden ser escuchados. Durante esta fase también pueden regular el volumen de los cascos a un nivel cómodo pero no demasiado bajo para que las discapacidades sean perceptibles. En [67] se dan las recomendaciones sobre cuál es el volumen adecuado de los cascos.

La fase de evaluación consiste en muchos experimentos sucesivos. El objetivo de cada experimento es comparar un sonido de referencia de calidad alta a varios sonidos de prueba colocados en orden aleatorio, incluyendo el sonido de referencia. Se pide a cada sujeto que identifique la calidad de cada sonido de prueba (relativo al de referencia y a otros sonidos del test) catalogándolo en una escala de calidad entre 0 y 100. No es necesario que un sonido de prueba sea catalogado como 0, sin embargo al menos uno de ellos debe ser catalogado como 100 (porque el sonido de referencia está dentro de los sonidos de prueba). Los sonidos de prueba también deben incluir uno o muchos “*sonidos ancla*” computados de manera similar para todos los experimentos usando operaciones simples de procesamiento de la señal. Uno de esos sonidos ancla debe ser el sonido de referencia filtrado de low-pass a 3.5Hz.

Después de que los sujetos hayan clasificado los sonidos del test de todos los experimentos se lleva a cabo una visualización de los resultados de los sujetos para rechazar los que sean producidos por sujetos demasiado críticos o no suficientemente críticos. Finalmente se realiza un análisis estadístico de los resultados.

4 Descripción experimental

4.1. Introducción.

Después de haber descrito en los capítulos anteriores el estado del arte y los conceptos teóricos más importantes que se abordan en el proyecto, se va a explicar el desarrollo del mismo.

En este capítulo se especificará con qué material y pistas de audio se ha trabajado en este Proyecto, qué herramientas se han desarrollado en este trabajo, además de la configuración que se ha llevado a cabo en el test de escucha.

4.2. Material utilizado

Para la ejecución de este Proyecto se han utilizado los siguientes medios técnicos.

- El ordenador para realizar el desarrollo de la mayor parte del trabajo del proyecto, excepto la ejecución del test de escucha a los oyentes, fue el siguiente: **Packard Bell** con Procesador Intel Core i5 3.20 GHz, 4,00 GB de memoria RAM, Sistema operativo Windows 7 de 32 bits y con disco duro de 500 GB.
- El portátil para realizar los experimentos de test de escucha con los oyentes fue: **Samsung** con Procesador Intel Core 2 Duo 2.5 GHz, 3,00 GB de memoria RAM, Sistema operativo Windows Vista de 32 bits, con disco duro de 232 GB, con tarjeta gráfica ATI Mobility Radeon X2300 128 MB, Tarjeta de sonido Agere Si3054 @ ATI SB600 – High Definition Audio Controller.
- Software **Matlab**: con el que se han desarrollado todas las herramientas y procesos que se han realizado en este proyecto.
- Software de simulación acústica de recintos **ODEON**: con el que se han simulado y generado las respuestas impulsivas.
- Herramienta Microsoft Office 2007
- Auriculares para el test de escucha de la marca **SENNHEISER** mod. **HD 515**.

4.3. Recintos utilizados

Las iglesias objeto de estudio son edificios del prerrománico de la Península Ibérica, las cuáles fueron construidas entre los siglos VII y X, excepto Santo Domingo de Silos que fue posterior. Es reseñable que en algunas de ellas se han llevado a cabo reformas, lo que ha modificado considerablemente su estructura original. A continuación se exponen brevemente las características de las iglesias objeto de estudio en una tabla. En los subapartados posteriores se describirá brevemente cada recinto.

Iglesia	Volumen (m ³)	Suelo	Muros	Techo	Mobiliario
San Juan de Baños	928	Piedra	Piedra	Madera	Bancos tapizados
Santa Lucía del Trampal	745	Opus Signinum	Piedra	Madera	Ninguno
San Pedro de la Nave	780	Piedra	Piedra	Piedra/Ladrillo	Bancos de madera
Santa María de Melque	1220	Madera	Piedra	Piedra	Ninguno
San Cebrián de Mazote	2700	Piedra	Estuco	Madera	Bancos de madera
Santo Domingo de Silos	11000	Terrazo	Lechado de cal sobre piedra	Lechado de cal sobre piedra	Bancos de madera

4.3.1. Iglesia de San Cebrián de Mazote

La iglesia de San Cebrián (o San Cipriano) se sitúa en el término municipal de San Cebrián de Mazote, muy cerca de Valladolid. Data del siglo X, aunque se desconoce la fecha exacta de su construcción. Esta iglesia es un claro ejemplo de la arquitectura mozárabe.

Se trata de una construcción de gran tamaño, cuya base es de tipo basilical con crucero. Dispone de tres naves separadas por arquerías de herradura apoyadas sobre columnas y capiteles. La cabecera es tripartita, con tres capillas, siendo más grande la central que las laterales, con ábsides planos al exterior. Su particularidad

recae en que posee un ábside trasero o contraábside en el costado occidental de la nave central.

Los muros son en su mayoría de mampostería, recubiertos con estuco. La nave central se cubre con techumbre plana de madera a dos aguas, mientras que la cabecera y el ábside trasero están cubiertos con bóvedas de arista y bóvedas gallonadas, de ascendencia cordobesa.

Posee elementos de decoración esculpida, tallados a trépano, que se encuentran en los capiteles que soportan los arcos de separación entre las naves.



Figura 11. Interior Iglesia de San Cebrián de Mazote

4.3.2. Iglesia de San Pedro de la Nave

La iglesia de San Pedro de la Nave, se encuentra en la localidad de El Campillo, término municipal de San Pedro de la Nave-Almendra, en la provincia de Zamora. Su construcción data de finales del siglo VII o principios del VIII. Fue declarada Monumento Nacional en 1912. Tiene la particularidad de que fue trasladada piedra a piedra desde su enclave original, a orillas del río Esla, hasta la ubicación actual. El motivo fue la construcción del embalse de Ricobayo en 1930.

Se trata de una de las últimas obras del arte visigodo. Lo que hace diferente a esta iglesia es sin duda su planta, puesto que combina dos diseños: el de cruz griega

(que era típico en los templos monacales de la época) y el de estructura basilical (que era común en las iglesias de uso público).

Sus cubiertas poseen bóvedas de cañón. Algunas de ellas mantienen su estructura de piedra, pero otras han sido reformadas y reconstruidas con ladrillo. El crucero se cierra con una cubierta de madera y los muros están contruidos con sillares a hueso.

La otra gran particularidad de la iglesia de San Pedro de la Nave es su enorme riqueza ornamental, que la convierte una de las muestras más importantes de la escultura visigótica.

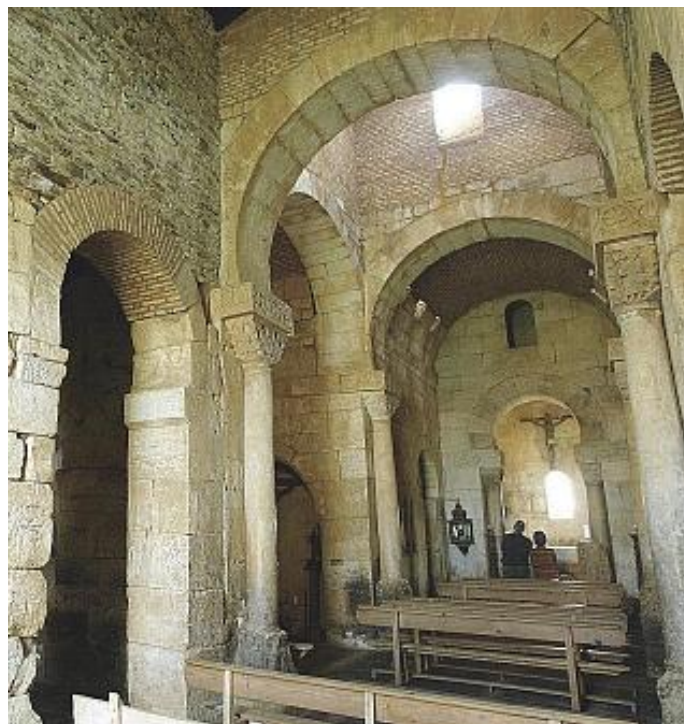


Figura 12. Interior Iglesia San Pedro de la Nave

4.3.3. Iglesia de Santa María de Melque

La iglesia de Santa María de Melque se encuentra en el municipio de San Martín de Montalbán, al norte de la provincia de Toledo. Esta iglesia formaba parte de un conjunto monástico del cuál no queda ninguna de las otras edificaciones. Fue construida en la primera mitad del siglo VIII y es el monumento mejor conservado de la España altomedieval. El gran arcosolio que se puede ver aún en el fondo del brazo sur del crucero, sugiere que Melque pudo ser en un principio un mausoleo.

Su técnica constructiva es herencia directa de la arquitectura tardorromana, aunque los escasos elementos decorativos que se conservan (filigranas de estuco en los arcos torales del crucero) denotan sus influencias cristianas orientales de Siria o Jordania.

La planta es cruciforme. La nave central está rematada por un ábside rectangular al exterior y en arco de herradura en la interior. Los ábsides laterales fueron añadidos posteriormente. La iglesia está abovedada sobre arcos de herradura y los muros se construyeron a base de sillares a hueso. Sobre la bóveda se conserva la torre musulmana a la que se accedía por escalera exterior.

Esta iglesia tiene aportaciones de estilo claramente visigodo, aportaciones de los mozárabes, y además recuerdos del estilo romano:

- Aportaciones visigodas: El arco de herradura. El conjunto desprovisto de restos esculpidos. El arcosolio.
- Aportaciones mozárabes: Arcos centrales de herradura sobrepasados en mitad del radio. Arcos de las ventanas en 2/3. Las extrañas pilastras semicirculares del interior.
- Innovaciones: El rebaje circular de las esquinas en sus 4 fachadas más la hendidura vertical a ambos lados.
- Estilo romano: Los enormes bloques de granito, la molduración en codos romanos, su planta.

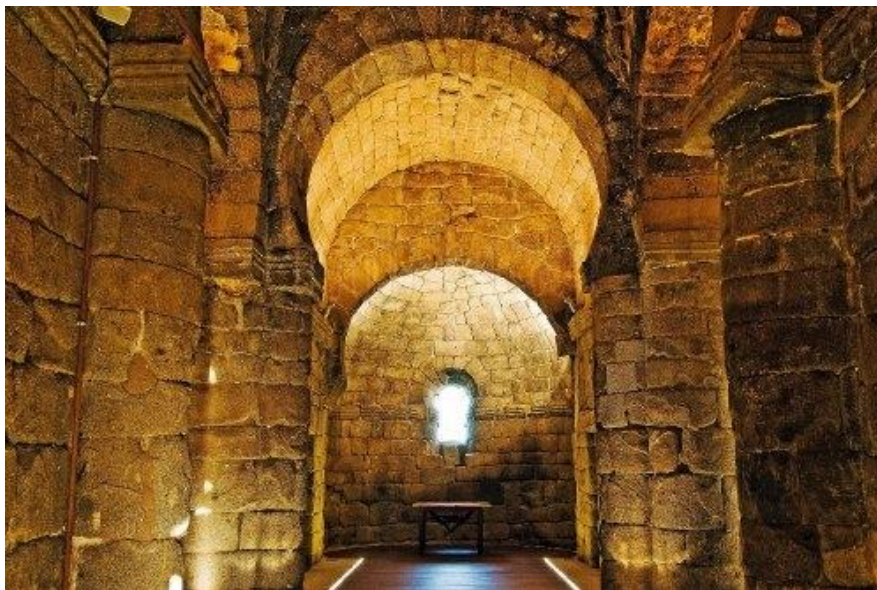


Figura 13. Interior Iglesia de Santa María de Melque

4.3.4. Iglesia de San Juan de Baños

La Iglesia de San Juan Bautista se sitúa en la localidad de Baños de Cerrato, a tan sólo 7km de la capital palentina. Se cree que es la iglesia en pie más antigua de España. Se sabe que fue ordenada construir en el año 661 por el rey Rescesvinto, gracias a una inscripción que todavía se conserva.

Es de planta basilical, con tres naves separadas por arcos de herradura sobre columnas cilíndricas. Las naves culminan en ábsides (de los cuales sólo el del centro pertenece a la estructura original). A lo largo de los años ha sufrido algunas reconstrucciones parciales incluso en la planta original, que se ensanchó en una especie de crucero o transepto que se abría sobre una triple cabecera formada por tres capillas rectangulares y no continuas. Después de la reconstrucción desaparecieron los ábsides laterales y la planta quedó convertida en un simple rectángulo con la cabecera desfigurada.

La cubierta es de madera a dos aguas en la zona de las naves y pétrea en los ábsides, con bóveda de cañón en el central y de crucería en los laterales. Los muros están contruidos con sillares grandes colocados a hueso.

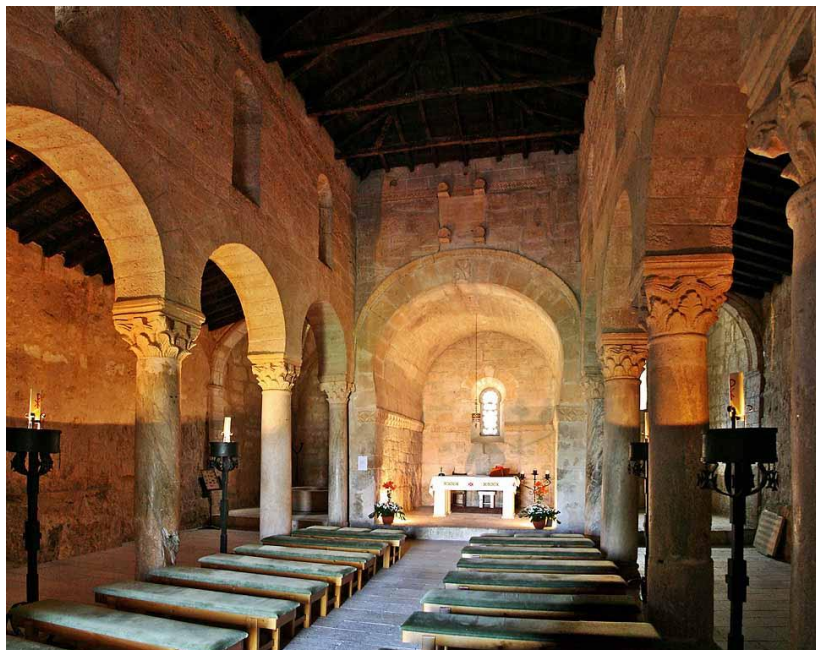


Figura 14. Interior Iglesia San Juan de Baños

4.3.5. Iglesia de Santa Lucía del Trampal

La iglesia de Santa Lucía del Trampal está situada en el municipio de Alcuéscar, en la provincia de Cáceres. Se han encontrado restos de edificios próximos a ella, lo que hace pensar que la iglesia pertenecía a un conjunto monástico. Su fecha aproximada de construcción no está clara, y existe una gran controversia entre su catalogación como iglesia visigoda y los que la califican como mozárabe, lo cual la ubicaría entre los siglos VII y IX.

Tiene una estructura compleja. Su planta es basilical y consta de tres naves que se comunican mediante un estrecho coro con un pseudo-crucero en el que se ubican tres capillas. Las tres capillas, paralelas y cubiertas con bóveda de herradura al igual que la nave, no tienen muros comunes, siendo estos independientes, con lo que los espacios entre capillas generan tramos en el transepto. Este tipo de cabecera es muy parecido al que encontramos en la iglesia de San Juan de Baños.

En la actualidad han desaparecido las habitaciones laterales anexas a la nave principal. Los muros son de mampostería de pizarra, mezclados con sillería de granito. Las cubiertas de madera a dos aguas que observamos en la actualidad no son las originales, puesto que sustituyeron a las cubiertas abovedadas que se construyeron en un principio.



Figura 15. Interior Iglesia Santa Lucía del Trampal

4.3.6. Iglesia de Santo Domingo de Silos

El Monasterio de Santo Domingo de Silos es una abadía benedictina ubicada en el municipio de Santo Domingo de Silos, en la provincia de Burgos. Fue construido en el siglo VII, aunque se llevaron a cabo numerosas reformas a partir del siglo XI, de ahí su variedad artística. Su claustro es una de las obras maestras del románico español.

Desde entonces, sus edificios han sido objeto de diferentes transformaciones, siendo la más importante la que se produjo a mediados del siglo XVIII, y que sustituyó la antigua iglesia románica por la actual de estilo neoclásico-barroco.

En el siglo XVIII, el monasterio sufre una profunda remodelación a cargo del arquitecto Ventura Rodríguez, que incluye la demolición de la iglesia románica para construir la iglesia neoclásica actual, de mayores dimensiones que la anterior. El coro se encontraba en la parte trasera de la iglesia, en un recinto contiguo que se comunicaba con el templo a través de una abertura en el muro.

La planta de la iglesia consta de una elipse de gran tamaño. Su eje mayor tiene una longitud de 43,5 m y está cortada a la mitad para formar el crucero, de 25,8 m de longitud. Posee otras cuatro elipses yuxtapuestas, que forman cuatro capillas laterales. En cuanto al alzado, existe una cúpula central y una bóveda acañonada a ambos lados de la misma. El volumen del recinto es de unos 11.000 m³.

El coro antiguo constituye en la actualidad un recinto anexo a la iglesia, totalmente independiente de la misma desde el punto de vista acústico. Su planta es cuadrada, de 11,3 m de lado, y su volumen es de 1400 m³ aproximadamente.

Ambos recintos son los que se usaron para la medición, y se encontraban desocupados en el momento de la realización de las mediciones acústicas.



Figura 16. Interior Iglesia Santo Domingo de Silos

4.4. Respuestas impulsivas de los recintos utilizados

De cada recinto descrito en el epígrafe 4.3, se han obtenido las respuestas impulsivas medidas y simuladas.

Las mediciones se han realizado siguiendo los criterios de la norma UNE-EN ISO 3382:2001 [41]. El equipamiento de medida utilizado está basado en el software de acústica de salas DIRAC, comercializado por Bruel & Kjaer. Como fuente sonora se utilizó una fuente omnidireccional Bruel & Kjaer modelo 4296, con un amplificador Bruel & Kjaer modelo 2716. La captación de las señales sonoras se realizó con un micrófono de doble diafragma, marca Neumann, modelo TLM 170 R. Dicho micrófono permite variar su directividad, lo que posibilita la medición de parámetros binaurales como la Eficiencia Lateral (LF). El método de medida utilizado es el de barrido de tonos debido a que proporciona mejores valores de relación impulso-ruido (INR) que el método MLS para salas con tiempos de reverberación muy altos.

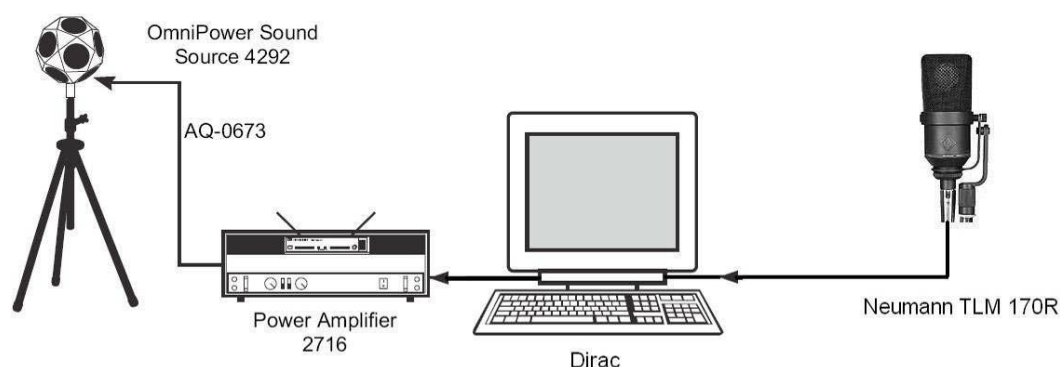


Figura 17. Esquema del sistema de medida de las respuestas impulsivas

Las respuestas impulsivas medidas tienen las dos siguientes configuraciones microfónicas:

- Omnidireccional-bidireccional: Se graba un archivo con dos canales. El primer canal está grabado en omnidireccional. El segundo canal, en bidireccional en figura de 8.
- Dummy Head: Se graba el archivo en binaural, simulando la escucha que percibiría una persona. Se registrarán dos canales, uno el izquierdo y otro el derecho.

La primera configuración (omnidireccional-bidireccional) es usada en todos los recintos, excepto en la Iglesia de San Juan de Baños, que la configuración es Dummy Head.

Para la simulación de las respuestas impulsivas se utilizó el software Odeon (este proceso se ha descrito en el apartado 3.3.1). Como se comentó en este apartado, se utiliza en la simulación un filtro HRTF. Normalmente, se usa para la simulación el filtro HRTF llamado “KEMAR” en Odeon y se realiza una compensación de auriculares por la respuesta en frecuencia de éstos.

Las HRTF más famosas son las elaboradas en los años 90 en el MIT con el maniquí llamado KEMAR (Knowles Electronic Manikin for Acoustic Research). Este HRTF es el que utiliza ODEON y que se denomina “KEMAR”.

El modelado de cada recinto ya estaba implementado y sólo se tuvo que obtener las respuestas impulsivas de cada punto de los recintos, utilizando para ello el filtro “unity” y sin ninguna compensación de auriculares.

Como las respuestas impulsivas medidas no estaban filtradas por la función HRTF, ni tienen ninguna compensación por auriculares, se decidió que las respuestas impulsivas simuladas tampoco. Se pretende que las dos señales a tratar (simulación y medición) tengan las mismas características y se generen con el mismo tratamiento, así en la evaluación subjetiva de las auralizaciones no podría influir esto.

Según la configuración que se va a llevar a cabo para generar las respuestas impulsivas simuladas, éstas se obtendrán con características monoaurales (son dos canales iguales, al no utilizarse la configuración descrita).

De todos los puntos en los que se midió y simuló las respuestas impulsivas, sólo se han decidido auralizar y, posteriormente usar para el test de escucha, tres puntos de cada recinto. Es decir, de cada recinto se han utilizado tres puntos con sus respectivas respuestas impulsivas medidas y simuladas. La elección de dichas respuestas recogidas en unos puntos u otros dependía exclusivamente de su capacidad para dotarnos de las conclusiones necesarias para desarrollar este trabajo.

Para ello, se realizó un estudio de las respuestas impulsivas con respecto a parámetros acústicos objetivos y se calcularon las diferencias, en términos de JND, de los parámetros acústicos objetivos entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas de cada punto. Con estos valores de JND, que son con los que luego se va a realizar el estudio, se decidió escoger por cada recinto:

- El punto en el que el JND entre las respuestas simuladas y medidas sea menor. (**Punto con JND menor**)
- El punto en el que el JND entre las respuestas simuladas y medidas sea mayor. (**Punto con JND mayor**)
- Otro punto, que no fuese ninguno de los dos anteriores y que tuviese un valor de JND entre los dos anteriores. (**Punto con JND medio**)

En la Tabla. IV se recogen las respuestas impulsivas que se han utilizado en este proyecto, habiéndose elegido éstas por los motivos antes descritos. A partir de aquí, solo nos referiremos a éstas como respuestas impulsivas.

Los recintos están nombrados con su código: SL = Santa Lucía del Trampal, SP = San Pedro de la Nave, SJ = San Juan de Baños, SM = Santa María de Melque, SC = San Cebrián de Mazote y SI = Santo Domingo de Silos.

Las columnas de la tabla son las siguientes, aclarándose en cada caso a qué se refieren:

- Iglesia: recintos a los que pertenecen las respuestas impulsivas auralizadas.
- T30: Tiempo de reverberación (T30) promedio en el recinto, entre las frecuencias de 500 Hz y 1 KHz.
- Punto: Referencia del punto en el que se han medido o simulado las respuestas impulsivas en cada recinto
- Promedio: Promedio de los valores de JND de las diferencias entre todos los parámetros acústicos objetivos entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas.
- 1 KHz: Promedio de los valores de JND de las diferencias entre todos los parámetros acústicos objetivos a 1 KHz, entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas.
- MID: Promedio de los valores de JND de las diferencias entre todos los parámetros acústicos objetivos en las bandas de 500 Hz y 1 KHz, entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas.
- T30 1 KHz: Valor del JND de la diferencia de T30 a 1 KHz entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas.
- T30 MID: Valor del JND de la diferencia de T30 en las bandas de 500 Hz y 1 KHz entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas.
- Código aural.: Código de las auralizaciones que se han generado a partir a partir de las respuestas impulsivas en cada punto.

			Valores de JND					
Iglesia	T30	Punto	Promedio	1 KHz	MID	T30 1KHz	T30 MID	Codigo aural.
SC	2,84	SCF1M2	10,08	11,34	10,79	1,47	1,57	X-1-M, X-1-S
SC	2,84	SCF1M8	6,66	4,53	5,56	0,12	0,24	X-3-M, X-3-S
SC	2,84	SCF1M11	6,13	4,56	5,54	0,46	0,47	X-5-M, X-5-S
SI	6,34	SIF1P1	8,62	4,28	3,94	0,59	0,28	X-1-M, X-1-S
SI	6,34	SIF1P12	3,65	2,14	3,11	0,35	0,43	X-2-M, X-2-S
SI	6,34	SIF1P18	3,64	1,61	1,55	0,12	0,18	X-3-M, X-3-S
SJ	1,32	SJF1M7	5,39	5,99	5,34	0,75	0,81	X-6-M, X-6-S
SJ	1,32	SJF1M14	6,65	6,26	5,80	0,15	0,83	X-13-M, X-13-S
SJ	1,32	SJF1M15	3,08	2,21	2,13	0,18	0,61	X-14-M, X-14-S
SL	0,845	SLF1M1	4,61	1,91	3,21	3,26	4,66	X-1-M, X-1-S
SL	0,845	SLF1M4	3,17	3,52	2,57	1,91	2,08	X-3-M, X-3-S
SL	0,845	SLF1M7	2,10	1,67	1,26	1,86	1,17	X-6-M, X-6-S
SM	2,05	SMF0M3	5,43	5,30	4,80	0,32	0,52	X-3-M, X-3-S
SM	2,05	SMF0M4	1,65	0,62	0,39	1,13	0,52	X-4-M, X-4-S
SM	2,05	SMF0M5	2,32	1,05	0,42	1,14	1,20	X-5-M, X-5-S
SP	1,17	SPF1M3	3,06	4,03	3,33	0,83	0,14	X-2-M, X-2-S
SP	1,17	SPF1M5	2,44	1,70	1,46	1,03	0,34	X-4-M, X-4-S
SP	1,17	SPF1M6	1,92	1,23	1,24	0,39	0,25	X-5-M, X-5-S

Tabla. IV. Tabla con los JND de las respuestas impulsivas de los puntos de cada recinto que se han elegido para realizar el estudio llevado a cabo en este Trabajo

Se han obtenido los valores acústicos objetivos de cada una de las respuestas impulsivas con el fin de comparar dichos valores entre ellos. Además, cuando se extraigan los resultados de la evaluación subjetiva del test de escucha, se compararán los resultados de este test subjetivo con los valores de JND o de estos parámetros acústicos. Esto se analizará en el apartado 5.9 del presente documento.

A continuación, se van a mostrar distintas gráficas de cada recinto, en los que se comparan las respuestas impulsivas con respecto a los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80.

Después de aparecer en Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22 y Figura 23 las gráficas comparativas entre respuestas impulsivas medidas y simuladas con valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 en los tres puntos de cada recinto, se muestra otra gráfica en la que se compara el tiempo de reverberación entre recintos. En Figura 24 se compara los T30 promedios de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de cada recinto. El promedio se ha realizado entre los tres puntos de cada recinto, apareciendo un T30 de la respuesta impulsiva o medida por cada recinto.

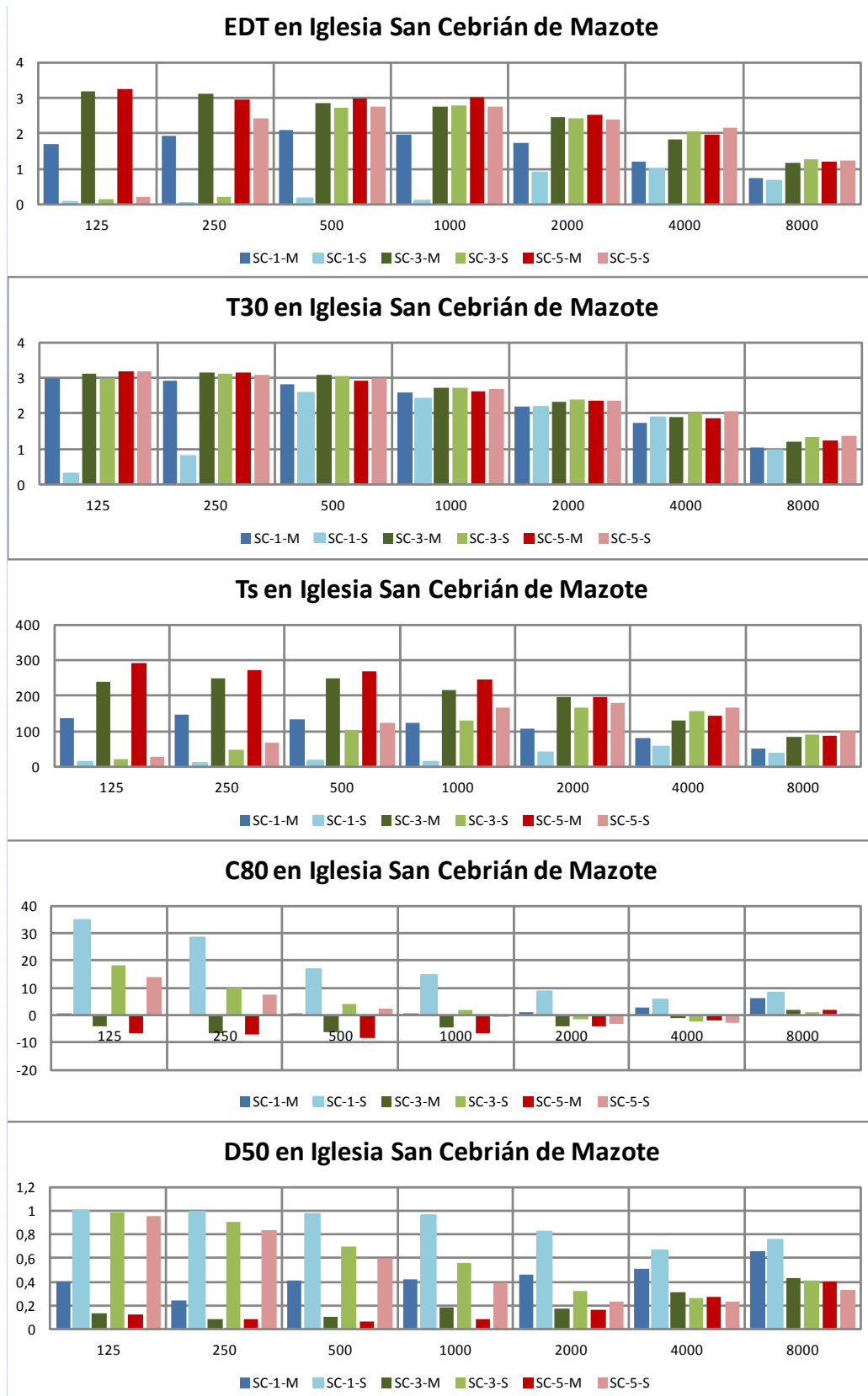


Figura 18. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia San Cebrián de Mazote

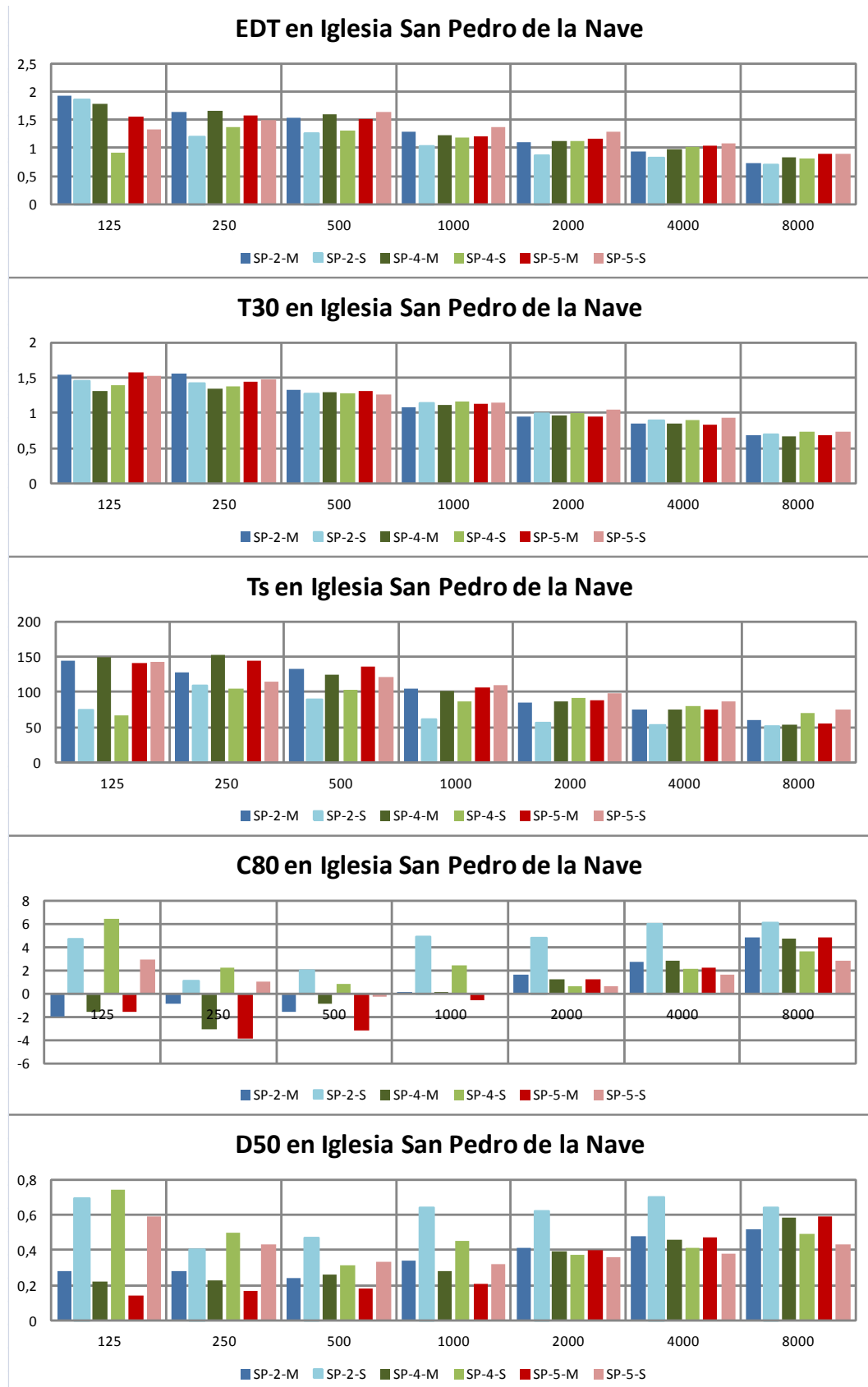


Figura 19. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia San Pedro de la Nave

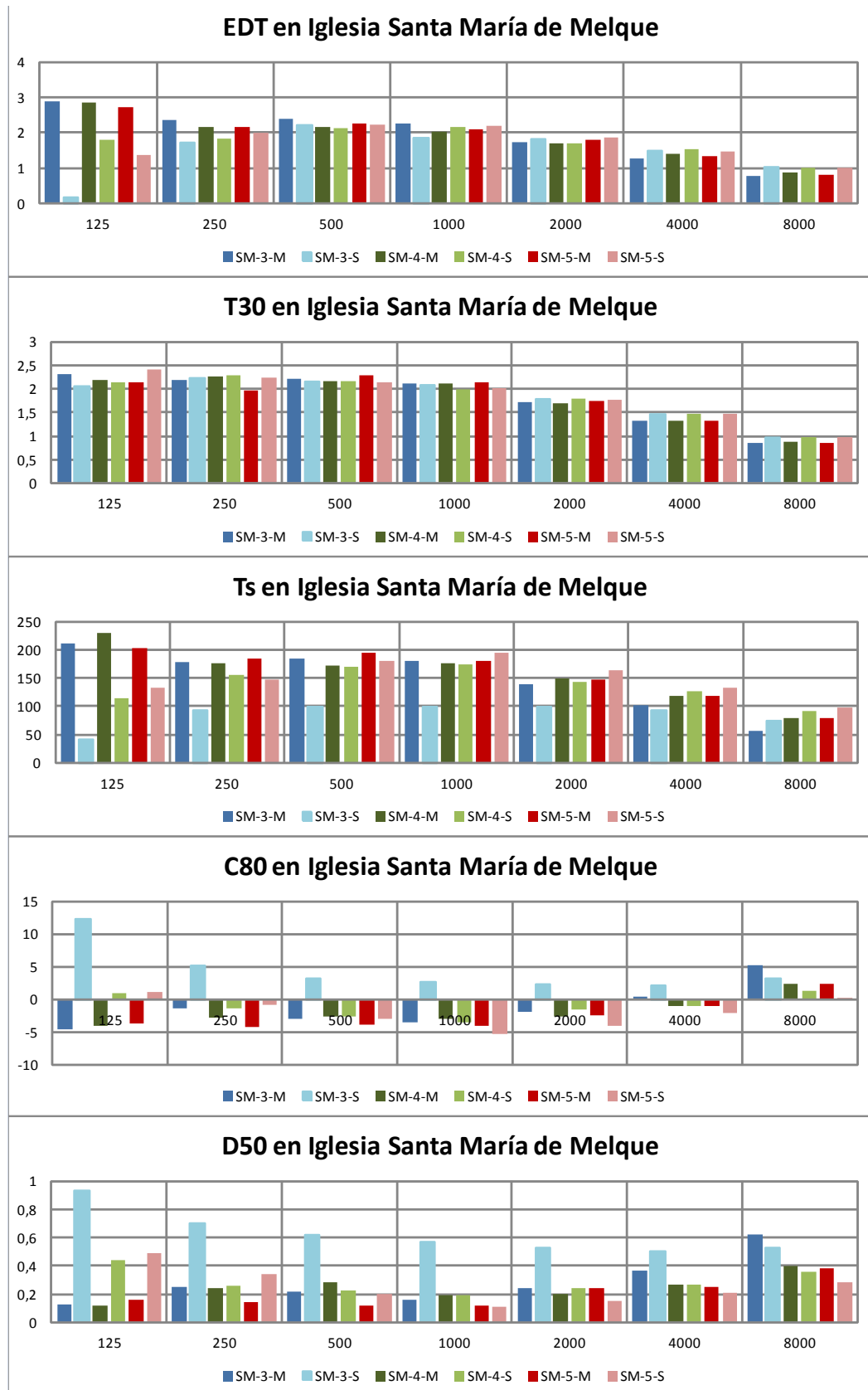


Figura 20. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia Santa María de Melque

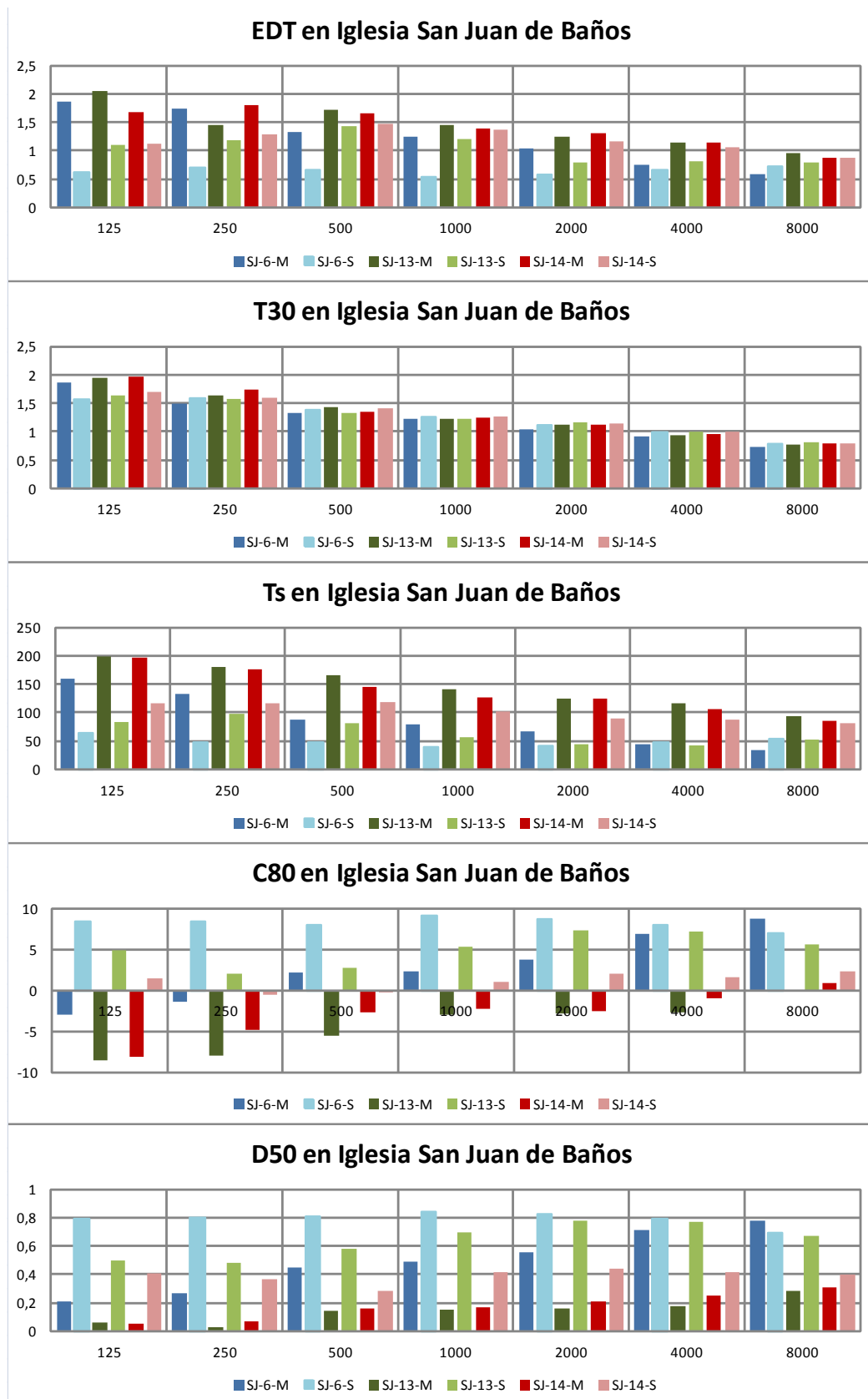


Figura 21. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia San Juan de Baños

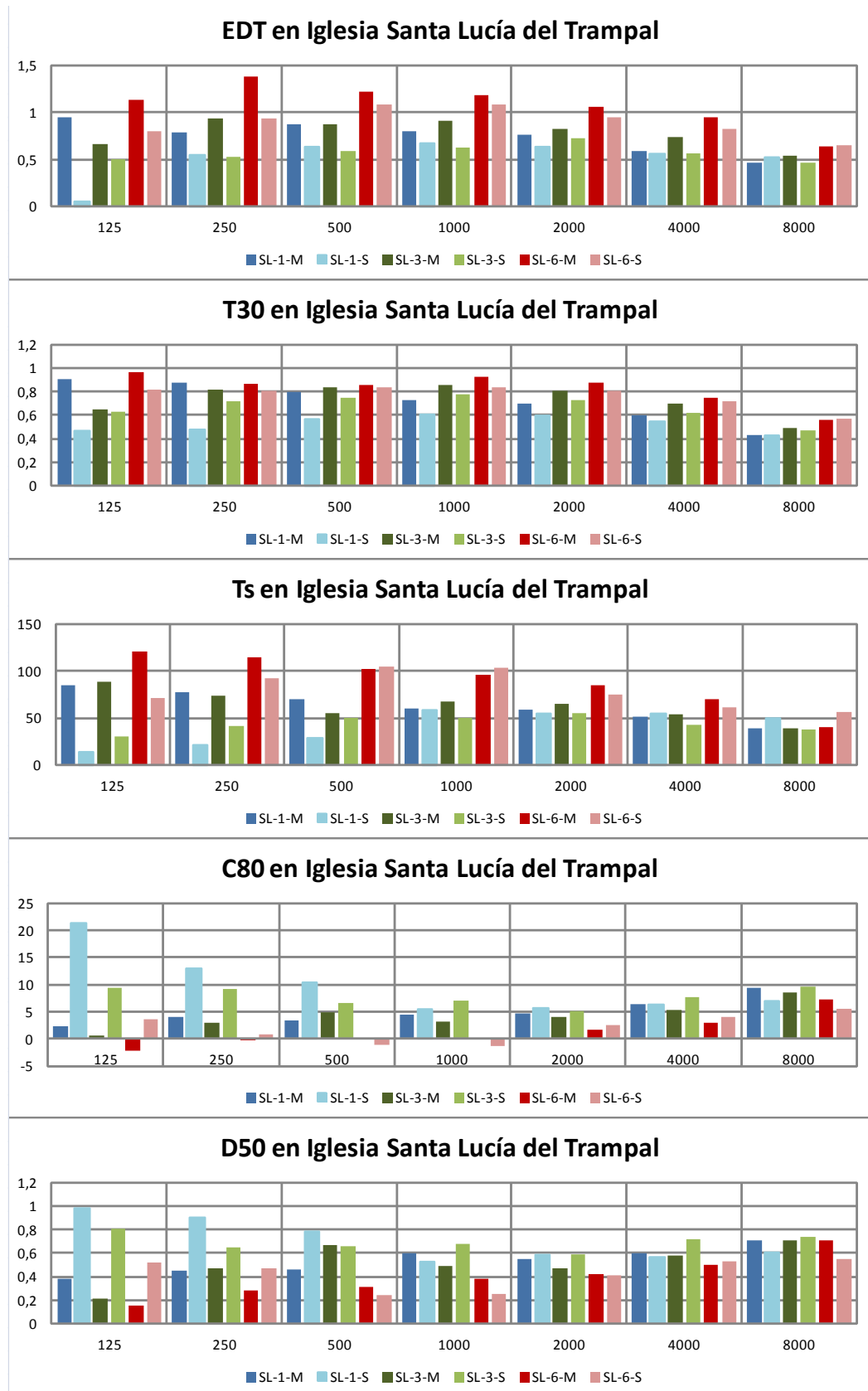


Figura 22. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia Santa Lucía del Trampal

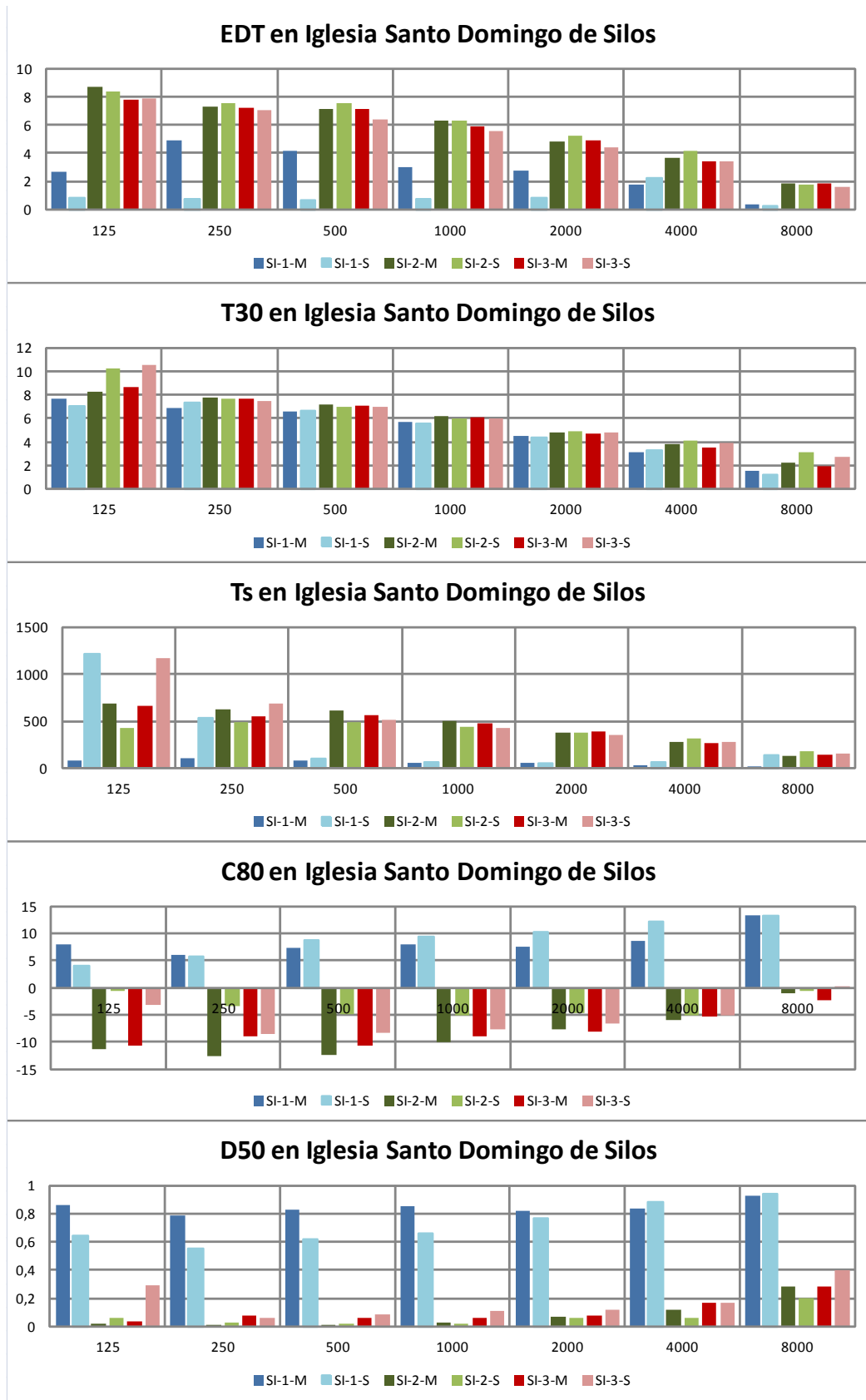


Figura 23. Gráficas comparativas entre los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de tres puntos de la Iglesia Santo Domingo de Silos

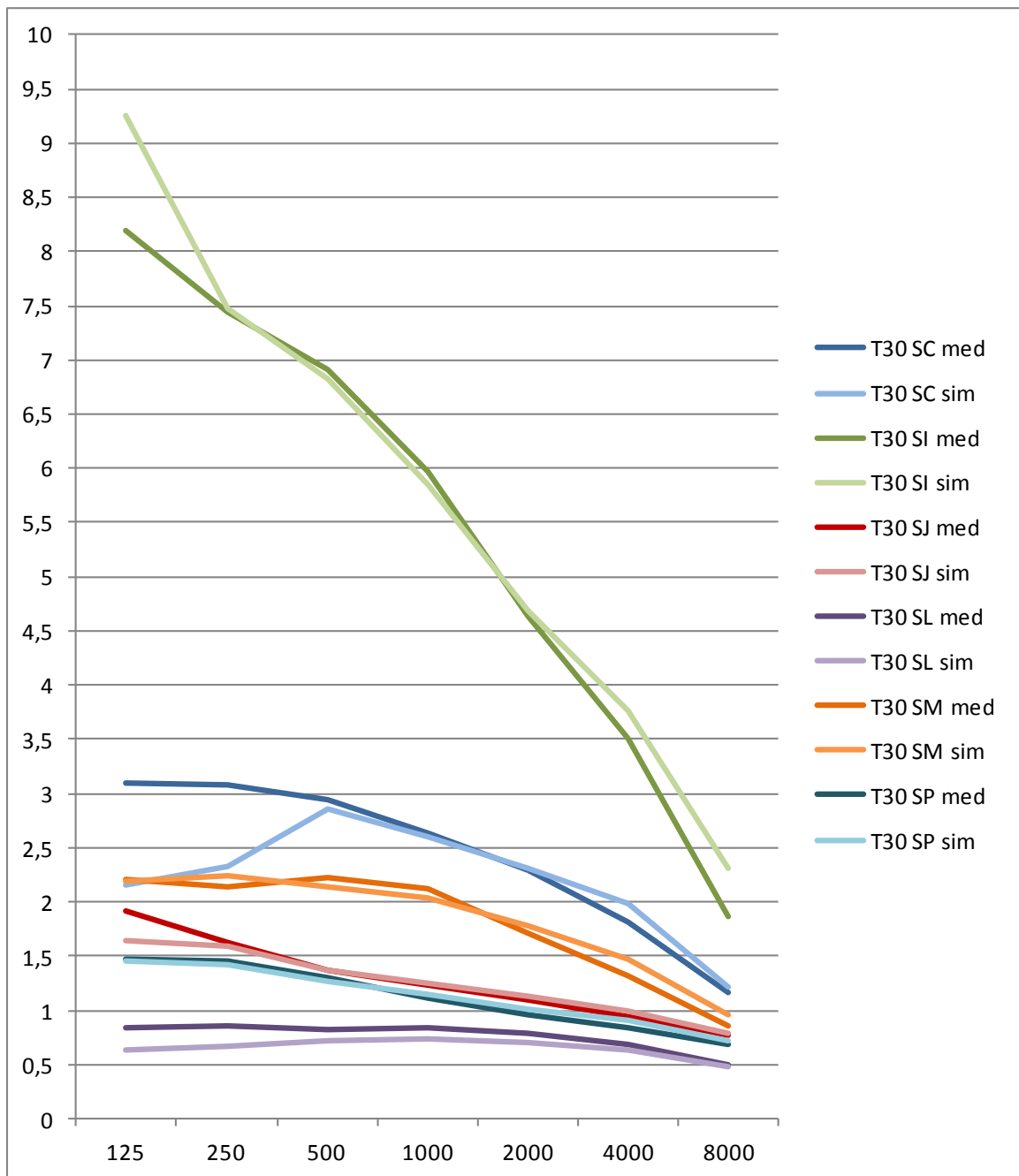


Figura 24. Gráfica comparativa de los Tiempos de reverberación T30 de las respuestas impulsivas (medidas y simuladas) de cada recinto

De las anteriores gráficas comparativas se extraen las siguientes conclusiones con respecto a los parámetros acústicos objetivos y a las diferencias, en términos de JND:

- Con respecto los valores de JND que se indican en la Tabla. IV para cada punto de cada recinto hay que tener en cuenta el apartado 3.2. Aparecen de color verdoso los valores mínimos y en rojo los valores máximos, siendo

amarillentos los valores medios. Teóricamente, los valores de JND menores que 1 se refieren a que no se aprecia la diferencia entre las pistas auralizadas con respuestas impulsivas medidas y simuladas. A partir de 1, sí que se considera apreciable la diferencia. Cuanto mayor es el valor, mayor será la diferencia entre las dos pistas. Dependiendo de los valores o columnas que se observen se pueden obtener unas conclusiones con respecto al JND. Pero lo más importante con respecto a estos valores de las diferencias JND de la Tabla. IV, se recogerá en el capítulo posterior 5, donde se comparan estos valores objetivos con los resultados obtenidos en el test de escucha y las conclusiones que se puedan extraer.

- De cada recinto se han mostrado los valores de EDT, T30, Ts, D50 y C80 de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de cada punto en las figuras: Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22 y Figura 23. En estas gráficas se pueden observar los casos en los que se aprecian diferencias entre los valores de los parámetros de las respuestas impulsivas medidas y simuladas. Estas diferencias concuerdan con los valores del JND. En particular, se puede extraer de la información que muestran las gráficas, que con respecto los valores de T30, los puntos en los que hay mayor diferencia entre los valores medidos y simulados son los de los puntos SL-1 (Santa Lucía del Trampal) y SC-1 (San Cebrián de Mazote). Con respecto a los valores de todos los parámetros mostrados en las gráficas, en los puntos donde se observa mayor diferencia son el SP-2 (San Pedro de la Nave), SM-3 (Santa María de Melque) y el SJ-6 y 13 (San Juan de Baños), además de los dos puntos comentados anteriormente (SL-1 y SC-1).

Si comparamos estas conclusiones con los valores de JND, corresponden los puntos con valores más altos de JND en cada recinto, con los puntos con mayor diferencia entre los valores de las respuestas impulsivas y medidas de las gráficas con los parámetros representados.

- Además de estudiar los puntos con valores más diferentes (párrafo anterior), se han evaluado los puntos en los que hay una diferencia menor. En la mayoría de puntos no se aprecia diferencia, sobre todo si se observa el parámetro T30. Como se especificó antes, hay relación entre los puntos con menor valor de JND y los puntos con menor diferencia entre los valores de las respuestas impulsivas y medidas de las gráficas de este apartado.
- La Iglesia de Santo Domingo de Silos tiene Tiempos de Reverberación mucho más elevados que el resto de recintos, como se puede observar en la Figura 24. El resto de recintos tienen valores de Tiempo de reverberación más

similares, aunque varía de 3 segundos a 1 segundo. Siendo la Iglesia de Santa Lucía del Trampal la menos reverberante.

- Dentro del mismo recinto se pueden observar diferencias grandes entre puntos en ciertos parámetros. Por ejemplo, la mayoría de recintos tienen diferencias entre sus puntos con respecto a los parámetros D50 y C80. Estos son los dos parámetros en los que hay una diferencia mayor entre la respuesta impulsiva y medida de la mayoría de los puntos. También se observan diferencias entre puntos con respecto al Ts. En algunas iglesias se aprecian diferencias entre los tres puntos con respecto a los parámetros estudiados en las gráficas. Pero, en este trabajo, no nos va a importar esta diferencia ya que no se valora la diferencia entre los puntos de un recinto, sino de la diferencia entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas de un mismo punto del recinto.
- El caso contrario, se encuentran la Iglesia de Santa María de Melque y la Iglesia de San Pedro de la Nave en el que la diferencia entre los valores de los parámetros en los distintos puntos son menores que en los otros recintos. Si se observa en la Tabla. IV, corresponden con los recintos que poseen los puntos con menores valores de JND.

4.5. Pistas de audio grabadas en cámara anecoica

Para realizar los posteriores test de escucha con diferentes pistas auralizadas generadas con las respuestas impulsivas descritas en el apartado anterior, se van a utilizar audios grabados en cámara anecoica. Para generar las auralizaciones, se tiene que convolucionar la respuesta impulsiva con un audio grabado en cámara anecoica. Había varias posibilidades a la hora de elegir los audios a usar, pero se decidió utilizar los siguientes:

- Audio de música: extraído del CD de Denon grabado en cámara anecoica. HANDEL/HARTY: No.6---- Water Music Suite, bars 1~11.
- Audio de palmadas: Clapping – hand clap, extraído de los audios grabados en cámara anecoica que tiene ODEON.
- Audio de voz hablada en inglés: extraído de página web pública de Angelo Farina. Pista n.5 de MUSIC FOR ARCHIMEDES con voz de hombre hablada en inglés.

Los motivos son que son los más representativos y distintivos de diferentes tipos de sonido. Un sonido con amplia gama de frecuencias como es la música, con diferentes instrumentos sonando. Otro tipo de sonido, el impulsivo, que está representado con un audio con palmadas. Y, por último, un audio de voz humana, que es el más representativo para evaluar la inteligibilidad y que tiene una mayor importancia en las frecuencias medias, las que los humanos percibimos mejor.

Las pistas de audio son archivos monoaurales, que tienen dos canales iguales. En el tratamiento de las señales, se tendrá en cuenta este tipo de configuración.

Las pistas de audio se decidieron acotar, con respecto al audio original, para que no fuesen demasiado largas para la ejecución del test de escucha por los oyentes. Se decidió acotar cada audio con un tamaño distinto, dependiendo de las características de cada uno. A continuación se detallará la variación de duración de cada pista de audio.

- Audio de música: se ha acotado a 8 segundos. La pista tenía una duración de 20 segundos.
- Audio de palmadas: se ha acotado a 7 segundos. La pista tenía una duración de 11 segundos
- Audio de voz hablada en inglés: se ha acotado a 6 segundos. La pista tenía una duración de 16 segundos.

4.6. Auralización

Para realizar el proceso de Auralización se utilizó la herramienta Matlab. En el apartado 3.3 ya se explicó teóricamente el proceso de Auralización. En esta parte se va a describir cómo se ha desarrollado una herramienta para que se realice la auralización entre las respuestas impulsivas de los recintos comentados en el apartado 4.3, y las pistas de audio grabadas en cámara anecoica detalladas en el apartado 4.4.

La auralización se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes partes del proceso (se puede ver el esquema en Figura 25):

1. Simulación de respuestas impulsivas de un recinto.
 - a. Modelo geométrico de un recinto realizado en Odeon.

- b. Cálculo y obtención de la respuesta impulsiva simulada por Odeon.
2. Medición de las respuestas impulsivas en un recinto.
3. Grabación de audios en cámara anecoica.
4. Tratamiento de las respuestas impulsivas (simuladas y medidas) y de las pistas de audio grabadas en cámara anecoica.
5. Convolución de las pistas de audio con las respuestas impulsivas, con lo que se obtiene una pista convolucionada, en la que sonará el audio con las características acústicas de las respuestas impulsivas de cada recinto.
6. Tratamiento de la señal que se ha obtenido de la convolución.
7. Tras realizar el anterior tratamiento, se obtiene la señal auralizada.

Las dos primeras partes ya se han realizado antes de comenzar este proyecto, y se midieron y simularon en los recintos descritos en el apartado 4.3. Los valores de JND de las respuestas impulsivas de dichos recintos, comparados entre medida y simulación se reflejan en la Tabla. IV.

La parte 3 se ha comentado en el apartado 4.4, especificando el motivo por el que se eligieron los audios utilizados en este proyecto.

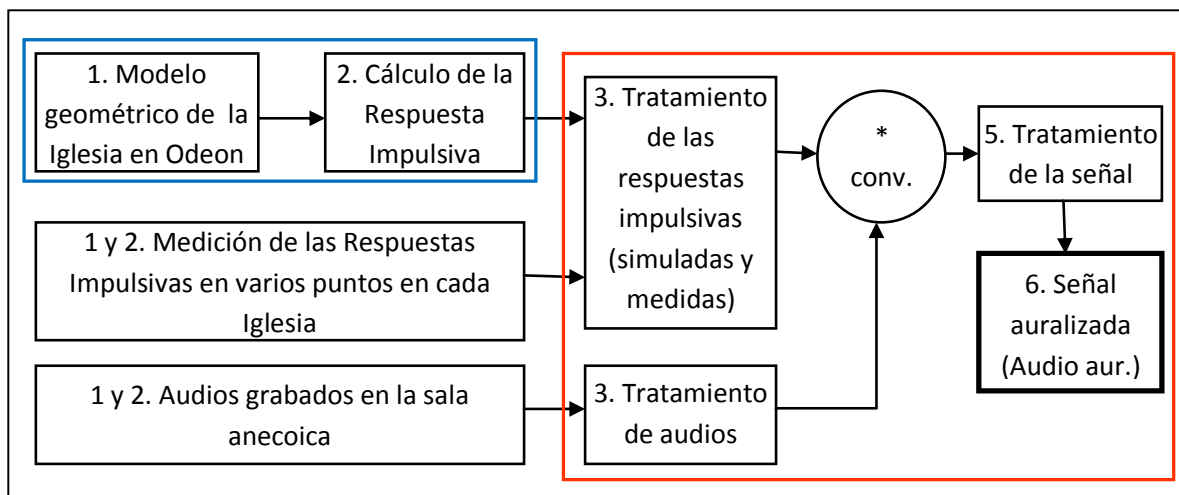


Figura 25. Esquema del proceso de auralización

Por lo tanto, en este apartado se desarrollará las partes 4 - 7, que son las que pertenecen al proceso de auralización y, por lo cual, serán desarrolladas más profundamente.

En este proyecto se ha creado una herramienta para generar las pistas auralizadas. Desde una función *auralizacion.m* se ejecutan las auralizaciones de cada recinto, denominadas cada una: auralizacion+ código del recinto + .m. Como por ejemplo *auralizacionSM.m*, que ejecuta el proceso de auralización de las respuestas impulsivas de la Iglesia de Santa María de Melque. En esta función (de cada recinto), se realizan los procesos comentados en este apartado.

En los siguientes cuatro subapartados se explicará el desarrollo del proyecto de estos puntos concretos y que se desarrollan en matlab con distintas funciones ejecutadas desde la función *auralizacion.m*.

4.6.1. Tratamiento de las respuestas impulsivas (simuladas y medidas) y de las pistas de audio

Como ya se comentó en el apartado 4.4, las pistas de audio fueron acotadas. Para que los oyentes realicen el test de escucha en el tiempo considerado como idóneo, los audios se acotaron al tiempo estimado como óptimo. Además, estos audios fueron normalizados en Matlab con la función *normalizarMono.m*.

```
% Lectura de las pistas wav de audio a auralizar, que se normalizan.
n=1;
x=wavread('Señales anecoicas/voz.wav');
normalizarMono;
x=wavread('Señales anecoicas/clapping.wav');
normalizarMono;
x=wavread('Señales anecoicas/musica.wav');
normalizarMono;
```

Extracto de código de la función auralizacionSC.m para tratar las pistas de audio

```
% Normalización de la pista con un solo canal (vector)
x_normalized=x/max(abs(x));
wavwrite(x_normalized,44100,strcat('Audio',num2str(n),'.wav'));
n=n+1;
```

Código de la función normalizarMono.m

En el caso de las respuestas impulsivas (tanto medidas como simuladas), el procesado que se realizará será algo más complejo. Las respuestas impulsivas se han medido o simulado de formas diferentes, generándose distintos tipos de audios.

Todas las respuestas impulsivas simuladas son monoaurales, con dos canales iguales. Todas se van a tratar igual, normalizándose con la función

normalizarEstereo.m que normaliza los dos canales por independiente, pero que para este caso no es relevante.

En cambio, las respuestas impulsivas medidas tienen dos tipos de configuración distintas, como ya se describió en el apartado 4.4. La configuración puede ser Omnidireccional-Bidireccional o Dummy Head. Cada tipo de respuesta se trata de forma distinta. Las respuestas con configuración Omni-Bi son tratadas con la función *normalizarMedEstereo.m* que normaliza el primer canal y el segundo no lo utiliza, generándose una señal con dos canales normalizados iguales obtenidos del canal omnidireccional de la respuesta impulsiva original. Las respuestas con configuración Dummy Head, se han tratado con la función *normalizarBinauralToMono.m* para ser normalizadas.

Además de la normalización de las respuestas impulsivas medidas y simuladas, cada una independientemente, se ha realizado la homogeneización de cada par de respuestas impulsivas medida y simulada en cada punto. La homogeneización consiste en acotar las dos respuestas impulsivas con el mismo tamaño y, por lo tanto, misma duración. Para ello, se utilizó la función *HomRespSimMed.m* que homogeniza las dos respuestas impulsivas.

A continuación, se muestran los extractos de código de las funciones que se han comentado.

```
x=wavread('Respuestas Impulsivas/Respuestas
Impulsivas/SC/SCF1M2_M.wav');
normalizarMedEstereo; % Se normaliza el primer canal, que es el que se
va a usar. Al ser una configuración OMNI-BI, sólo nos interesa el
primer canal
hm=x_normalized;
x=wavread('Respuestas Impulsivas/Respuestas
Impulsivas/SC/SCF1M2_S.wav');
normalizarEstereo; %Se normalizan los dos canales. Son iguales en este
caso. La respuesta impulsiva simulada es monoaural, con dos canales
iguales
hs=x_normalized;
HomRespSimMed; %Se homogenizan las respuestas impulsivas medidas y
simuladas
```

Extracto del código de auralizacionSC.m en el que se trata las respuestas impulsivas

```
% Normalización de resp impulsiva medida. Es estereofónica, con dos
canales. El primero es omni, el segundo es bidir. Figura de 8. Para
normalizar solo cogemos el primero, el omnidireccional. Metemos el
vector repetido como si fuese binaural. Esto es para que luego se
realice bien la auralización
x=x(:,1);
x_normalized=x/max(abs(x));
x_normalized=[x_normalized, x_normalized];
```

```
wavwrite(x_normalized,44100, strcat('Pist', num2str(n), '.wav'));
n=n+1;
```

Código de la función normalizarMedEstereo.m

```
% Normalización de la señal con dos canales (dos vectores)
left=x(:,1);
right=x(:,2);
x_left=left/max(abs(left));
x_right=right/max(abs(right));
x_normalized=[x_left, x_right];
wavwrite(x_normalized,44100, strcat('Pist', num2str(n), '.wav'));
n=n+1;
```

Código de la función normalizarEstereo.m

```
% Normalización de la señal con dos canales (dos vectores)
convirtiéndola a mono
left=x(:,1);
right=x(:,2);
x=(left+right)/2;
x_left=x/max(abs(x));
x_right=x/max(abs(x));
x_normalized=[x_left, x_right];
wavwrite(x_normalized,44100, strcat('Pist', num2str(n), '.wav'));
n=n+1;
```

Código de la función normalizarBinauralToMono.m

```
% Homogeniza las respuestas impulsivas medidas y simuladas
a=length(hs);
b=length(hm);
if b>a
    extra=hm(1:a,1);
    hm=[extra, extra];
    wavwrite(hm,44100, strcat('RespImp_M_', num2str(u), '.wav'));
    wavwrite(hs,44100, strcat('RespImp_S_', num2str(u), '.wav'));
end
if b<a
    extra=hs(1:a,1);
    hs=[extra, extra];
    wavwrite(hm,44100, strcat('RespImp_M_', num2str(u), '.wav'));
    wavwrite(hs,44100, strcat('RespImp_S_', num2str(u), '.wav'));
end
u=u+1;
```

Código de la función HomRespSimMed.m

Este proceso se realizará con todas las respuestas impulsivas de cada punto y de cada recinto (desde cada función de auralización por cada recinto).

4.6.2. Convolución de las pistas de audio con las respuestas impulsivas

Después de haber tratado las respuestas impulsivas y las pistas de audio antes de ser convolucionadas, se pasará a realizar el proceso de convolución de la

auralización. El proceso se va a hacer de separada. Por una parte, se generan las pistas auralizadas que se obtienen a partir de respuestas impulsivas medidas y, por otra parte, las pistas auralizadas que se obtienen de las respuestas impulsivas simuladas.

Lo primero que se realiza para cada punto es obtener la señal de audio “x” y la señal de la respuesta impulsiva “h”. De “h” se separan los dos canales: “left” y “right” (aunque para este proyecto van a tener los mismos valores los dos vectores). La convolución se va a realizar independientemente en cada canal. El vector “h” debe trasponerse para poder realizarse la convolución con “x”. Después se realiza la convolución de “x” y “h” para obtenerse la auralización. Para ello se ejecuta la función *overlap.m*. A continuación se muestra el extracto de código de este proceso.

```
%Se procede a auralizar cada pisa de audio normalizada con cada
respuesta al impulso normalizada. se realizará la convolución
independientemente por cada canal y posteriormente se juntarán para
formar la pista auralizada (binaural), aunque los dos canales serán
iguales. Se auralizan por una parte las respuestas impulsivas medidas
y, posteriormente, las respuestas impulsivas simuladas. Las dos se
realizan de la misma forma
for p=1:3,
    x=wavread(strcat('Audio',num2str(p),'.wav'));
    x=x';
    for n=1:5,
        h=wavread(strcat('RespImp_M_',num2str(n),'.wav'));
        left=h(:,1);
        right=h(:,2);
        h=left;
        h=h';
        overlap;
        yleft=y';
        h=right;
        h=h';
        overlap;
        (...)
    end
end
(...)
```

Extracto del código de auralizacionSC.m en el que se realiza la convolución

En el método *overlap.m* se desarrolla el proceso de convolución que se realiza para obtener “y”, a partir de “x” y “h”. La señal “y” obtenida es la señal auralizada, aunque posteriormente será tratada para que sea usada en el test de escucha. El extracto de código del método *overlap.m* en el que se desarrolla la convolución, se muestra a continuación.

```
% He modificado varias partes del método para que sirviese para
nuestro caso. Pero el método es el mismo que el de Overlap Save
Method.
clear Ma Ma1 Ma2 Ma3;
length(x)
```

```

length(h)
L=length(h)+1;
(...)

(...)
% Code to perform Convolution using Overlap Save Method
M=length(h);
lx=length(x);
r=rem(lx,L);
x1=[x zeros(1,L-r)];
nr=(length(x1))/L;

h1=[h zeros(1,L-1)];
for k=1:nr
    Ma(k,:)=x1((k-1)*L+1:k*L);
    if k==1
        Ma1(k,:)=[zeros(1,M-1) Ma(k,:)];
    else
        Ma1(k,:)=[Ma(k-1,(L-M+2):L) Ma(k,:)];
    end
    Ma2(k,:)=ifft(fft(Ma1(k,:)).*fft(h1));
end
Ma3=Ma2(:,M:(L+M-1));
y1=Ma3';
%Se obtiene la señal convolucionada y
y=y1(:)'
(...)

(...)

```

Extracto de código de overlap.m donde se muestra como se realiza la convolución

4.6.3. Tratamiento de la señal convolucionada y obtención de la pista auralizada

Después de haberse realizado la convolución de la señal de audio “x” con cada canal de la respuesta impulsiva “h” obteniéndose “y”, se realiza la normalización de cada canal por separado de la señal convolucionada “xleft” e “yright”. Estos dos vectores se unen en una señal “y” que es las pista convolucionada y que será la pista auralizada.

Esta señal se convierte en una señal de audio .wav nombrándose: PistaAuralizada + _ + Código del Recinto + _ +nº de pista de audio+ - + nº de respuesta al impulso de ese recinto + -M o -S (dependiendo de si es la respuesta impulsiva o medida) + .wav. Por ejemplo, para la auralización de la respuesta impulsiva medida del Punto 1 del recinto de San Cebrián de Mazote con el audio 1, sería: *PistaAuralizada_SC_1-1-M.wav*. Estas pistas auralizadas se guardan en la carpeta Pistas Auralizadas. El extracto de código en el que a modo de ejemplo se puede observar este proceso, se muestra a continuación.


```

(...)

(...)
overlap;
yright=y';
yleft=yleft/max(abs(yleft));
yright=yright/max(abs(yright));
y=[yleft, yright];
% Se nombrara a cada pista auralizada con el número de pista
de audio primero - número de respuesta al impulso segundo
wavwrite(y,44100, strcat('Pistas
Auralizadas\PistaAuralizada_SC_', num2str(p), '-', num2str(n), '-M.wav'));
end
end

```

Extracto del código de auralizacionSC.m en el que se trata la convolución y se obtiene la pista auralizada

Ejecutando auralizacion.m, que lleva a cabo la auralización de todos los puntos del recinto, genera todas las pistas auralizadas que quedan guardadas en la carpeta Pistas Auralizadas.

4.7. Test de escucha

Tras haber generado las pistas auralizadas, como se ha descrito en el apartado anterior 4.6, éstas se utilizarán para realizar el test de escucha para poder comparar entre auralizaciones. El objetivo del test de escucha es comparar las pistas auralizadas que se han generado con respuestas impulsivas medidas con respecto a las que se han generado con respuestas impulsivas simuladas. Éstas deben haberse generado con el mismo audio y que se hayan tomado en el mismo punto del recinto.

A continuación se explicará cómo se ha llevado a cabo el desarrollo del test de escucha que se ha utilizado en este proyecto. Se han tenido en cuenta los trabajos de investigación descritos en el Capítulo 2 (especialmente, los apartados 2.2 y 2.8) para enfocar el test de escucha de la mejor forma posible.

4.7.1. Herramienta de escucha implementada

Se ha tomado como referencia el software de test de escucha WHISPER, el cual se ha explicado en el apartado 3.4.1. Se consultó con los investigadores que desarrollaron la herramienta para saber si se podía usar su software. Se les comunicó

la posibilidad de modificarlo y desarrollarlo para que realizase y generase lo que se pretende en este proyecto. Su respuesta fue afirmativa y se pudo utilizar esta herramienta como referencia. Tras su desarrollo, los cambios realizados fueron significativos, dando lugar a un software que cumple con los propósitos de este Trabajo. En el apartado posterior, 4.7.2, se describirán estos cambios.

4.7.2. Desarrollo del test de escucha utilizado

El desarrollo del test de escucha fue un proceso complejo, en el que se llevaron a cabo numerosos cambios hasta obtener el modelo definitivo, que albergara las herramientas ideales para conseguir nuestro objetivo. A continuación se explicarán los cambios que se realizaron y cómo se desarrolló este test de escucha.

Lo primero que se realizó fue la modificación todo el software WHISPER para que los botones, textos, comentarios u otros elementos de la interfaz, que visualiza el oyente (no el experimentador) apareciesen en castellano en lugar de en alemán o inglés.

Después de esto el desarrollo del test se centró en transformar WHISPER, tomando como base las opciones del programa que podrían ser útiles, modificándolas para cumplir con los objetivos. WHISPER, como se describió en el apartado 3.4.1, tiene tres tipos de procedimientos para el test de escucha: procedimiento psicofísico adaptado, técnica del cuadro de repertorio (RGT) y semántica diferencial. Del procedimiento que se ha basado el test de escucha de este proyecto es el de RGT.

Durante la primera parte del procedimiento los estímulos (elementos de audio) son combinados en grupos de tres (llamados tríadas) y presentados al sujeto que se supone que tiene que distinguir las similitudes y contrastes. El resultado de la comparación de cada tríada es una pareja de expresiones verbales que representan los descriptores de diferencia y similitud entre los estímulos. En la segunda parte los elementos son clasificados en escalas que evalúan las expresiones verbales de similitud y diferencia descrito en la parte anterior. La formación de tríadas puede ser llevada a cabo manualmente por el experimentador o automáticamente por el programa creando una variación completa. Además el orden de presentación de las tríadas y elementos pueden también ser definidos por el usuario o generado aleatoriamente.

Partiendo de este procedimiento RGT como base, y tras llevar a cabo una serie de modificaciones en el mismo, obtendremos un nuevo test de escucha, que es el objeto de este proyecto.

Uno de los principales cambios en la herramienta es que la interfaz de usuario (pantalla) se ha modificado para conseguir una mejor comparación y evaluación de las pistas de audio, según los requerimientos de los experimentadores. Se han añadido botones, deslizadores, opciones y expresiones. A continuación se muestra la comparación entre las pantallas de la ejecución del test con WHISPER (en RGT) y el test desarrollado en la Figura 26.

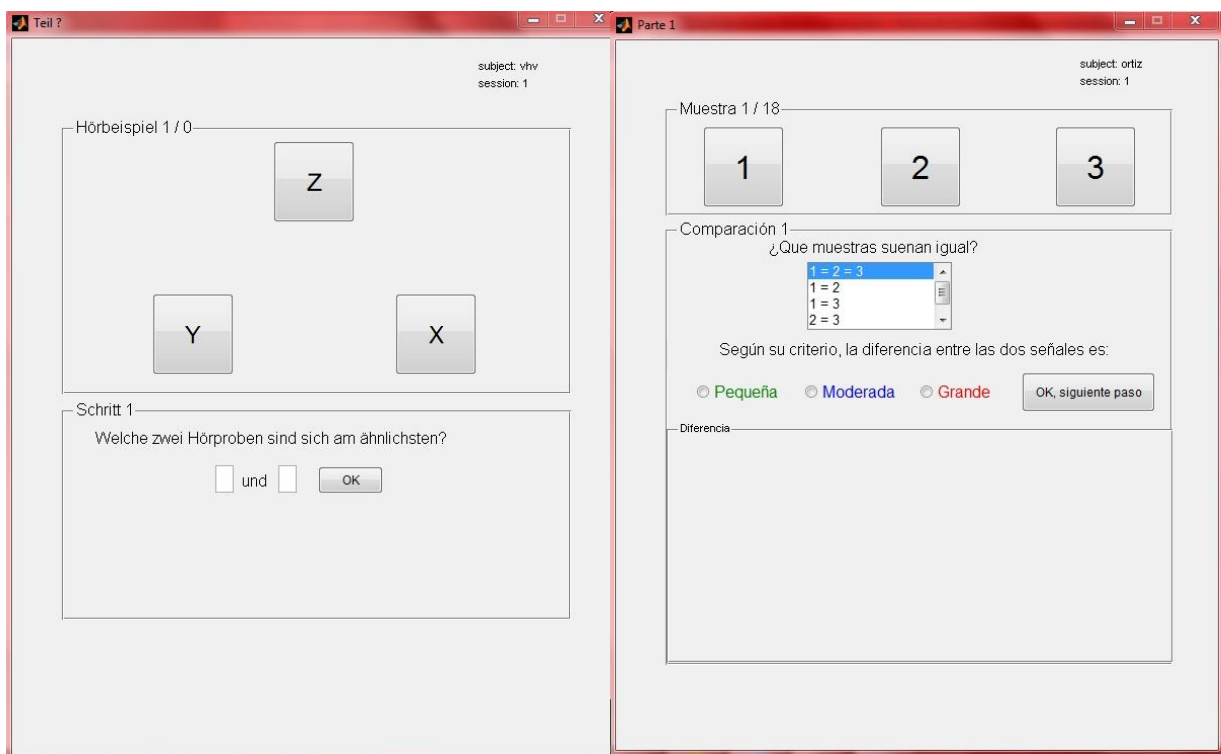


Figura 26. Comparación de la pantalla del test de escucha de WHISPER y del test desarrollado en este proyecto

En esta primera parte del test, la pantalla que aparece de inicio se ha modificado. Se han recolocado los botones que reproducen las pistas de audio, situándolos de manera que sea más fácil e intuitivo el relacionar su posición con el botón que es, puesto que además hemos modificado el "nombre" del botón, al asignarle un número, que debería ser más fácil de identificar por el oyente. Así se sabe que el primer botón, con el primer audio que se pulsa es el 1, el segundo botón que se pulsará después es el 2, y lo mismo con el tercer botón que es el 3.

Además con esta variación de la posición de los botones se ha reducido el espacio que ocupa esta parte en la pantalla, dejando más espacio para otras secciones.

Lo siguiente que aparecía en el test de WHISPER era la pregunta de qué pistas o audios sonaban igual, y debajo se dejaban dos campos de texto para escribir las dos pistas que se percibían igual. Así que habría que escribir dos pistas entre: X, Y o Z. Esta forma, puede verse como más confusa y que complique la evaluación al oyente. Por eso, se decidió realizar la misma pregunta pero, para responderla, que apareciesen las cuatro opciones posibles de respuesta en una lista. Así el oyente puede seleccionar el ítem con el que esté de acuerdo.

De esta forma, se reducirá las probabilidades de que la respuesta sea errónea y al oyente le resultará más sencillo, tardando además menos tiempo en contestarla.

En el test original, después de contestar a la pregunta de cuáles son las pistas iguales, hay un botón de OK al que hay que seleccionar para pasar a la siguiente sección de esta parte. En cambio, en la versión desarrollada en este proyecto, además de responder a la pregunta de qué pistas suenan igual, aparece otra pregunta en la que hay que contestar sobre cómo es la diferencia entre estas pistas que se han definido como iguales y la que se ha percibido como distinta. Para ello, hay tres opciones (radiobutton) a las que contestar: poco, moderado, mucho. En el caso en el que se haya respondido anteriormente que suenan las tres iguales, esta pregunta y las tres posibles respuestas no aparecen. En lugar de esto aparecería un mensaje en el que se podría leer "OK, siguiente paso". Además en la siguiente sección, que después se va a comentar, no aparecería y habría que pasar directamente a la siguiente muestra pulsando el botón inferior de la pantalla que se puede observar en la Figura 29.

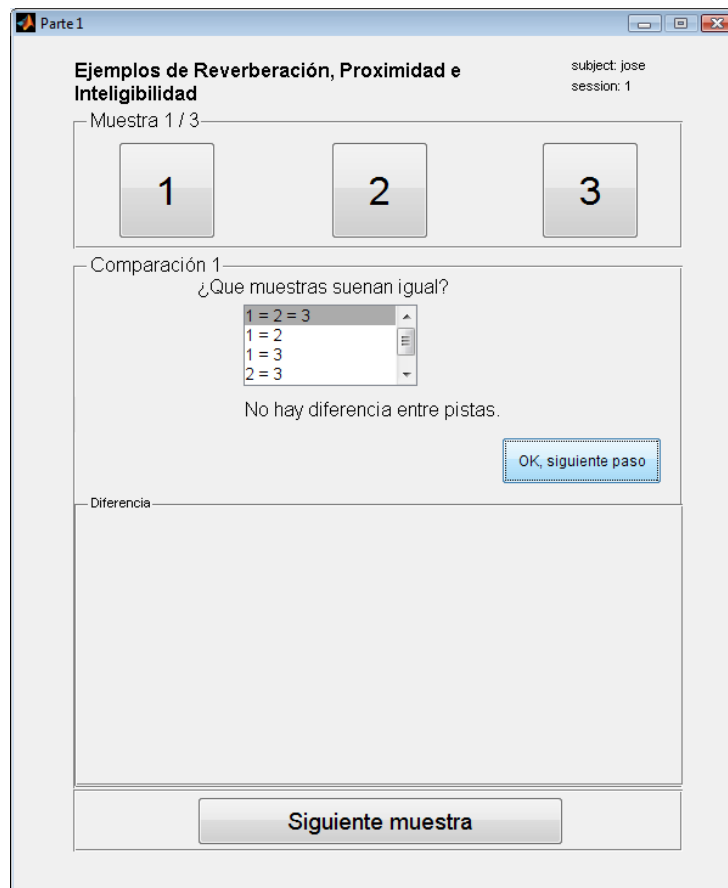


Figura 27. Pantalla ejemplo cuando las tres pistas son iguales

Después de seleccionar OK en las dos versiones del test aparecerá una nueva sección en la parte inferior. Dicha sección es diferente en el procedimiento RGT y en nuestro test desarrollado. A continuación se muestra en la Figura 28 la comparación entre estas secciones de ambas versiones y de una pantalla posterior a esta que sólo existe en la versión de WHISPER, y que ha sido eliminada del test desarrollado en este proyecto (aunque la evaluación que recogía esta segunda pantalla también aparece en el test desarrollado, pero dentro de la primera pantalla realizando una evaluación diferente).

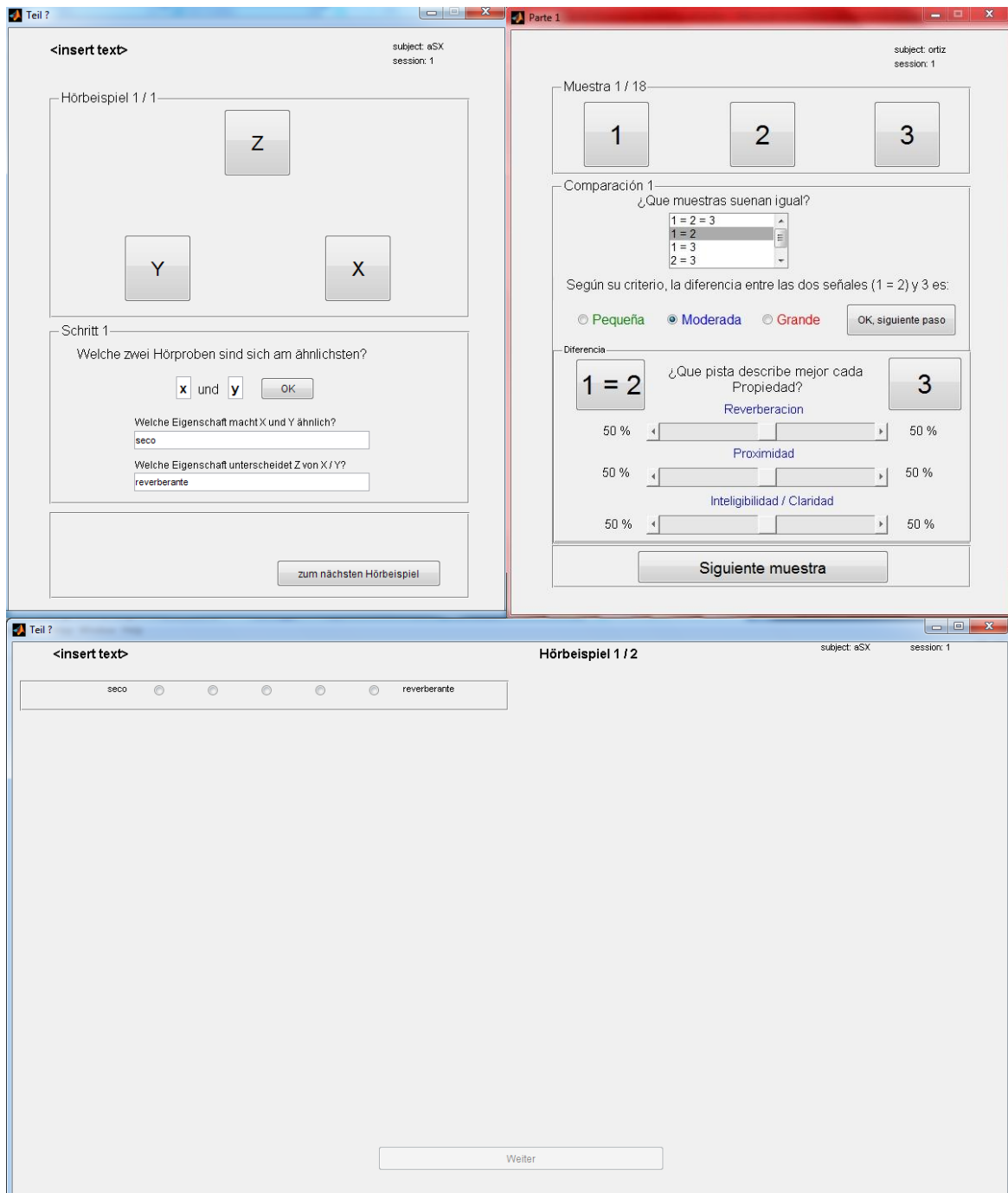


Figura 28. Comparación de la pantalla del test de escucha de WHISPER y del test desarrollado en este proyecto (parte 2)

Como se puede ver en la Figura 28, en la versión de WHISPER aparecían después dos preguntas: cuál es el atributo o propiedad que se atribuye a que se consideren las dos pistas iguales, y cuál es el atributo o propiedad que se atribuye a la diferencia de las pistas iguales con la que es diferente. Cada pregunta tiene debajo un campo para que el oyente escriba la respuesta que considere. Al terminar el oyente pulsaría “Siguiente muestra” y pasaría a la siguiente triada (comparación de tres

audios). Después de finalizar esta parte del test de triadas, se realizaba una segunda parte en la que las mismas pistas de audio que aparecían en esta primera parte, se reproducían por separado y aparecían en la pantalla unos ítems para evaluar cada pista con respecto a los parámetros o atributos que antes se habían declarado como diferenciadores o igualadores. Esta forma no pareció la más apropiada para este proyecto, además de que podía parecer confusa y compleja para el oyente. La función *sd_vp* no se va a utilizar en este proyecto ni en el test de escucha desarrollado. Así que se decidió realizar otro tipo de cuestiones y evaluaciones que iban más relacionadas con nuestro ámbito de estudio.

En este proyecto, como ya se ha comentado, se pretende sacar conclusiones comparando ambas pistas auralizadas. Por lo tanto, evaluarlas por separado podría ayudarnos, pero resultaba más interesante para este trabajo evaluarlas conjuntamente. Y esta evaluación se realizó con respecto a tres parámetros que se consideraron los más idóneos para este test, y con los que se podría extraer más conclusiones en este trabajo.

En el test desarrollado aquí, como se puede observar en la Figura 28 y en la Figura 29, aparece una segunda sección de esta pantalla diferente a la anterior descrita. Como ya se describió antes, ya la primera sección añadía ítems y modificaba la forma de evaluar las triadas con respecto a la original de WHISPER. Pero esta segunda sección sí que es totalmente novedosa.

Esta sección se ha llamado "Diferencia" y en ella, en primer lugar, aparecen dos botones: el primero, en los que figuran las pistas que se han seleccionado como iguales; y el segundo, la que se ha considerado distinta. Así que, al pulsarlo, se volverán a reproducir independientemente. Esto, además de para volver a reproducir los dos audios que se han considerado diferentes y realizar la segunda sección del test, sirve para que el oyente pueda confirmar y asegurarse de que contestó bien a la pregunta de qué pistas auralizadas suenan igual, y si no es así se dará cuenta y volverá a contestar a la pregunta de qué audios suenan de manera idéntica. Funciona como filtro para verificar que el propio oyente se reafirma en su respuesta.

En la parte inferior, hay que comparar cada audio con respecto a tres parámetros o atributos: reverberación, proximidad e inteligibilidad o claridad. Si se considera que la pista 1=2 es más reverberante que la pista 3, el cursor se moverá hacia el lado del botón "1=2". Para concretar exactamente lo que se mueve el cursor hacia un lado o hacia otro, aparece a los lados del cursor un porcentaje que es el que

se le asignaría a cada pista del botón superior con respecto al parámetro evaluado. Por ejemplo, como se decía antes si se considera 1=2 más reverberante que 3 en un porcentaje 60-40, se mueve el cursor de tal forma que aparezca a los lados de éste estos valores. Así se realiza con los tres parámetros.

Después de haber evaluado este par de pista comparándose con respecto a estos tres parámetros, se pulsaría el botón de siguiente muestra y se continuaría con la siguiente triada. En la Figura 29 se puede ver con mayor detalle la pantalla del test de escucha que se ha desarrollado en este proyecto.

subject: ortiz
session: 1

Muestra 1 / 18

1 2 3

Comparación 1
¿Que muestras suenan igual?

1 = 2 = 3
1 = 2
1 = 3
2 = 3

Según su criterio, la diferencia entre las dos señales (1 = 2) y 3 es:

☐ Pequeña ☒ Moderada ☐ Grande

OK, siguiente paso

Diferencia

1 = 2 ¿Que pista describe mejor cada Propiedad? 3

Reverberacion

50 % 50 %

Proximidad

50 % 50 %

Inteligibilidad / Claridad

50 % 50 %

Siguiente muestra

Figura 29. Pantalla completa de comparación entre pistas del test de escucha

Después de describir los mayores cambios y diferencias en la interfaz de usuario (pantallas) entre el test de escucha original WHISPER y el desarrollado para este proyecto, se van a especificar las diferencias en el código y funciones .m.

Como ya hemos comentado se modificó el código para que tradujera automáticamente al castellano el texto que aparece en el test, puesto que nuestros oyentes son castellano-parlantes. Pero donde se realizó el mayor número de cambios fue en la función *rgt_vp_triad.m*. A continuación se muestra algunos ejemplos de extractos con los principales cambios que se han realizado en el código de la función *rgt_vp_triad.m* que es la que está relacionada con la pantalla descrita antes (Figura 29).

El primer extracto de código pertenece a uno de los botones añadidos en la pantalla en la segunda sección del test de escucha "diferenciación". En dicho botón, que se nombra como las pistas que se hayan asignado igual, por ejemplo "1=2", se reproduce la pista de audio que se haya seleccionado como igual (1 o 2). Se puede observar el proceso que se realiza para reproducir cada pista de audio.

```
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pb_z (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
global x_present
global y_present
global PP TSP
if x_present==1
    triad_nr=PP.playlist(PP.counter);
    stimulus_id=TSP.sections{PP.run_section_line,5}{1,1}(triad_nr,1)%;
    present_stimulus(stimulus_id);
    PP.triad_completely_listened(1)=1;
else if y_present==1
    triad_nr=PP.playlist(PP.counter);
    stimulus_id=TSP.sections{PP.run_section_line,5}{1,1}(triad_nr,2)%;
    present_stimulus(stimulus_id);
    PP.triad_completely_listened(1)=1;
end
end
```

Función del Botón en el que se reproduce la pista de audio en el código rgt_vp_triad.m de la pantalla del test de escucha

El siguiente botón cuyo desarrollo vamos a explicar es el de "OK, siguiente paso". De la función que se implementa en dicho botón, se obtienen los valores que se han seleccionado en la primera sección de la pantalla: las pistas de audio que se han seleccionado como iguales y la que es diferente. Si se han seleccionado que las tres pistas son iguales, no va a aparecer la segunda sección de la pantalla. Si se selecciona que dos pistas son iguales y una distinta, se habilita que sea visible la segunda sección del test de escucha, apareciendo: los botones de las dos pistas diferenciadas, los parámetros a comparar, los deslizadores para comparar las pistas de audio con respecto estos parámetros y los porcentajes que se referencian a cada

audio con respecto el parámetro asociado. Por último, se activa el botón de la parte inferior de la pantalla, para que aparezca "Siguiente muestra".

```
% --- Executes on button press in pb_ok. Botón OK, Siguiente muestra.
function pb_ok_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pb_ok (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

global PP TSP
global motivo
global x_present
global y_present
global z_present
global todo

lista=get(handles.listbox2,'String'); %Obtienes el vector o lista de
items a elegir
posicion=get(handles.listbox2,'Value'); % Obtienes el valor de la
posición del items seleccionado
sim=lista{posicion}; %Obtienes el items que se ha seleccionado.
motivo=sim;
sim_3='';
x_present=0;
y_present=0;
z_present=0;
todo=0;
distinto='';
switch posicion
    case 1
        sim_1='1';
        sim_2='2';
        sim_3='3';
        x_present=1;
        y_present=1;
        z_present=1;
        todo=1;
    case 2
        sim_1='1';
        sim_2='2';
        distinto='3';
        x_present=1;
        y_present=1;
    case 3
        sim_1='1';
        sim_2='3';
        distinto='2';
        x_present=1;
        z_present=1;
    case 4
        sim_1='2';
        sim_2='3';
        distinto='1';
        y_present=1;
        z_present=1;
end

not_chosen=0;
```

```

if isempty(sim_1)==0 && isempty(sim_2)==0 && sim_1~=sim_2 &&
(sim_1=='1' || sim_1=='2' || sim_1=='3') && (sim_2=='1' || sim_2=='2'
|| sim_2=='3') && size(PP.triad_completely_listened, 2)==3
    if todo==0
        set(handles.txt_similarity, 'Visible', 'On');
        set(handles.slider2, 'Visible', 'On');
        set(handles.slider3, 'Visible', 'On');
        set(handles.slider4, 'Visible', 'On');
        set(handles.pushbutton7, 'String', sim);
        set(handles.pushbutton7, 'Visible', 'On');
        set(handles.pushbutton8, 'String', distinto);
        set(handles.pushbutton8, 'Visible', 'On');
        set(handles.text21, 'Visible', 'On');
        set(handles.text27, 'Visible', 'On');
        set(handles.text28, 'Visible', 'On');
        set(handles.text29, 'Visible', 'On');
        set(handles.text30, 'Visible', 'On');
        set(handles.text31, 'Visible', 'On');
        set(handles.text17, 'Visible', 'On');
        set(handles.text18, 'Visible', 'On');
        set(handles.text19, 'Visible', 'On');
        set(handles.pan_weitere, 'Visible', 'On');
        set(handles.pb_nein, 'String', 'Siguiente muestra');
    else
        set(handles.pan_weitere, 'Visible', 'On');
    end
    if TSP.sections{PP.run_section_line,5}{1,3}==PP.step %wenn letzter
erlaubter Schritt erreicht, nur noch weiter-Möglichkeit anbieten

        set(handles.pb_nein, 'String', 'Siguiente muestra');
    end
end
end

```

Función del Botón OK en el código rgt_vp_triad.m de la pantalla del test de escucha

Cuando en la pantalla se clickea el botón “siguiente muestra” (denominado en el código como *pb_nein*) se ejecuta el siguiente código.

```

% --- Executes on button press in pb_nein.
function pb_nein_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pb_nein (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

global PP TSP TSD
global motivo
global x_present
global y_present
global z_present
global todo

triad_nr=PP.playlist(PP.counter);
stimulus_id=TSP.sections{PP.run_section_line,5}{1,1}(triad_nr,1);

%recoge los valores de los radiobutton, para saber cómo de diferente
se apreció la diferencia y que botón se pulsó
poco=get(handles.radiobutton3, 'Value');
moderado=get(handles.radiobutton4, 'Value');
mucho=get(handles.radiobutton5, 'Value');
if poco==1

```

```

        igual=1;
end
if moderado==1
    igual=2;
end
if mucho==1
    igual=3;
end
if todo==1
    igual=0;
end
reverb=get(handles.slider2,'Value');
prox=get(handles.slider3,'Value');
intel=get(handles.slider4,'Value');
(...)

(...)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
sesion=num2str(TSD{PP.run_number+1,3});
subject=TSD{PP.run_number+1,2};

%Se abre el archivo de resultados.txt donde se escriben los resultados
id=fopen('resultados.txt','a');
fprintf(id,'%s\t',strcat(subject,' | - | ',sesion,' | - | ',
num2str(stimulus_id))); %Sujeto, sesión y estímulo
fprintf(id,'%s\t',motivo); %Pistas que suenan igual
fprintf(id,'%s\t',num2str(x_present)); % 0 si x es la pista diferente
fprintf(id,'%s\t',num2str(y_present)); % 0 si y es la pista diferente
fprintf(id,'%s\t',num2str(z_present)); % 0 si z es la pista diferente
fprintf(id,'%s\t',num2str(igual)); % Valor de diferencia del 0 al 3
fprintf(id,'%s\t',num2str(reverb)); % Diferencia entre pistas por
reverberación
fprintf(id,'%s\t',num2str(prox)); % Diferencia entre pistas por
proximidad
fprintf(id,'%s\n',num2str(intel)); % Diferencia entre pistas por
inteligibilidad
fclose(id);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
(...)

(...)
PP.counter=1;
rgt_vp_triad_exit
else %sonst weiter Triads
    rgt_vp_triad
end

```

Extracto de la función del Botón “Siguiente muestra” en el código rgt_vp_triad.m de la pantalla del test de escucha

Primero se obtiene el identificador del estímulo que se ha reproducido en la triada en primer lugar. Servirá simplemente para comparar que se han ido mostrando las triadas y estímulos en el orden esperado y en el que se ha configurado. Después se obtienen los valores de los radiobutton que contestan a la pregunta de cómo es la diferencia entre audios, pudiendo ser poco, moderado o mucho. El valor que se obtiene es 0 o 1, siendo 1 el que se ha seleccionado. Dependiendo de la diferencia que se haya apreciado se le dará un valor que luego se guardará como resultado. Si la

diferencia era nula (las tres se escuchaban igual), el valor de igual (término que se va a utilizar para la diferencia) es 0. Si es poca, será 1. Si es moderada, 2. Y si es mucha, 3.

El siguiente punto del proceso, es obtener los valores que se han marcado en los deslizadores para cada parámetro acústico (reverberación, proximidad e inteligibilidad o claridad). Estos valores serán de 0 a 1, siendo 0 si el deslizador estaba en el punto más a la izquierda (valor máximo del parámetro correspondiente en la pista de audio de la izquierda), ó 1 si el deslizador estaba en el punto máximo a la derecha (valor máximo del parámetro en la pista de la derecha).

Anteriormente se declaró la variable motivo (en la función del botón que se explicó anteriormente), donde está guardada el valor de las pistas de audio que se han contestado como que suenan igual. Es lo que se seleccionó en el listbox de la pantalla del test de escucha.

La siguiente parte del código que aparece es la extracción de la sesión del test de escucha que se está realizando y del sujeto que lo está realizando. Estos dos campos son los que se rellenarán antes de comenzar el test de escucha por el experimentador y, que identificarán al oyente que realiza el test y a la sesión del test que esté realizando.

En esta función se realizan otros procesos pero que aquí no se van a describir ya que son propios de WHISPER y no se han desarrollado en este proyecto, ni tienen importancia para éste.

Además, en esta función del botón “Siguiente muestra” se realiza todo el proceso de guardado de resultados. Este proceso sigue los siguientes pasos para cada triada:

- Se abre el archivo *resultados.txt*, donde se van a guardar todos los resultados de los test de escucha, los cuáles posteriormente serán tratados y evaluados con el propósito de obtener conclusiones.
- En la primera columna se guardarán el sujeto, la sesión y el identificador del primer estímulo de la triada.
- En la segunda columna se guarda el ítem que se ha seleccionado del listbox, en el que se responde a qué pista de audio suenan igual. Por ejemplo, aquí se guardaría “1=2” en el caso de que se haya seleccionado tal afirmación.

- En las tres columnas siguientes, se guarda 0 ó 1 dependiendo de si 1, 2 ó 3 hayan sido seleccionados como iguales a otras o no. Si es el audio diferente será un 0, sino un 1. Es decir, para el caso anterior, las tres columnas serían 1 1 0.
- En la sexta columna, se guarda el valor del deslizador que hay para evaluar la reverberación entre las dos pistas de audio. El valor estará comprendido entre 0 y 1.
- En la séptima columna, se guarda el valor del deslizador que hay para evaluar la proximidad entre las dos pistas de audio. El valor estará comprendido entre 0 y 1.
- En la octava columna, se guarda el valor del deslizador que hay para evaluar la inteligibilidad o claridad entre las dos pistas de audio. El valor estará comprendido entre 0 y 1.
- Por último se cierra el archivo *resultados.txt* después de haberse hecho un salto de línea.

Para terminar con esta función, dependiendo de si es la última muestra o triada, se pasa a una u otra pantalla. Si es la última triada se da por finalizado el test y se pasa a la pantalla que finaliza el test llamada *rgt_vp_triad_exit.m*. Si no es la última, se vuelve a llamar a la misma pantalla (*rgt_vp_triad.m*) pero con la siguiente triada.

Después de explicar el proceso que se lleva a cabo en la pantalla al pulsar el botón “Siguiente muestra”, se va a describir lo que se lleva a cabo al seleccionar un ítem del listbox de la pantalla del test de escucha. A continuación se muestra el extracto de código.

```
% --- Executes on selection change in listBox2.
function listBox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to listBox2 (see GCBO)
% (...)
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from listBox2
lista=get(handles.listBox2,'String');
posicion=get(handles.listBox2,'Value');
sim=lista{posicion};
switch posicion
    case 1
        sim_2='';
    case 2
        sim_2=' 3';
    case 3
        sim_2=' 2';
    case 4
        sim_2=' 1';
end
set(handles.text_12,'String',strcat('Según su criterio, la
```

```

diferencia entre las dos señales (' , sim, ') y ' , sim_2, '
es:'), 'Visible', 'On');
set(handles.radiobutton5, 'Visible', 'On');
set(handles.radiobutton3, 'Visible', 'On');
set(handles.radiobutton4, 'Visible', 'On');

if strcmp(sim_2, '')
    set(handles.text_12, 'String', strcat('No hay diferencia entre
pistas. '), 'Visible', 'On');
    set(handles.radiobutton5, 'Visible', 'Off');
    set(handles.radiobutton3, 'Visible', 'Off');
    set(handles.radiobutton4, 'Visible', 'Off');
end

```

Función del listbox (donde se eligen que pistas suenan igual) en el código rgt_vp_triad.m de la pantalla del test de escucha

En esta función se tratan los valores del ítem de la lista que se ha seleccionado. Primero se obtiene el índice del ítem que se ha seleccionado, después la lista del listbox y con estos dos datos, se obtiene el valor o ítem que se ha seleccionado (“1=2”, por ejemplo). Sabiendo la posición del ítem seleccionado, se da un valor a la pista diferente, siendo nulo si se ha seleccionado el ítem de “1=2=3”. Por ejemplo en el caso de que se haya pulsado “1=2”, la pista distinta será 3.

El siguiente punto llevado a cabo en el proceso de la función del listbox puede ejecutarse de dos formas distintas:

1. Si las tres pistas de audio son iguales, en la pantalla aparecerá un texto en el que se indica que no hay diferencia entre muestras. Además desaparecerán los tres radiobutton en los que habría que seleccionar como es la diferencia entre audios.
2. Si hay dos pistas de audio iguales (por ejemplo, 1=2) y una diferente, se mostrará en la pantalla: “Según su criterio, la diferencia entre las dos señales 1=2 y 3 es:”. Además en la parte inferior aparecerán visibles los tres radiobutton en los que hay que contestar a esta frase, seleccionando una de ellas.

Como ya se ha comentado antes, en la pantalla se utilizan deslizadores para comparar las dos pistas diferentes con respecto a parámetros acústicos. El proceso que se realiza al ejecutar uno de los deslizadores, además de lo comentado antes, es el siguiente.

```

% --- Executes on slider movement.
function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to slider2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%        get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range
of slider
num1=(1-get(handles.slider2,'Value'))*100;
set(handles.text21,'String',strcat(num2str(floor(num1)), ' %'));
num2=get(handles.slider2,'Value')*100;
set(handles.text29,'String',strcat(num2str(floor(num2)), ' %'));
```

Función del slider (deslizador que compara las pistas con respecto un parámetro acústico) en el código rgt_vp_triad.m de la pantalla del test de escucha

En este código, se obtiene el valor que se ha seleccionado del deslizador y con este valor se calcula el porcentaje que le corresponde a cada pista de audio con respecto a los parámetros acústicos. Este valor de porcentaje se muestra en la pantalla en un texto que se encuentra a la derecha o izquierda del deslizador, dependiendo de si se refiere a la pista que se encuentra (el botón) a la izquierda o derecha del deslizador.

Para finalizar el análisis del código de *rgt_vp_triad.m*, se muestra el código que se ha desarrollado en los radiobutton en los que se contesta a la pregunta de cómo es la diferencia entre las pistas de audio. Se ha implementado esta función para que cuando se seleccionase uno de los radiobutton, si había alguno de los otros seleccionado, se desactivase. De esta forma, sólo puede haber uno activado tras ser pulsado. El extracto de código de esta función aparece a continuación.

```
% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to radiobutton3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Si se pulsa un radiobutton se desactivan los otros dos
set(handles.radiobutton4,'Value',0);
set(handles.radiobutton5,'Value',0);
```

Función del radiobutton (donde se selecciona la diferencia entre pistas de audio) en el código rgt_vp_triad.m de la pantalla del test de escucha

A parte de *rgt_vp_triad.m*, como ya se ha comentado antes al principio del apartado, se han modificado otras funciones y pantallas. También la conexión entre pantallas era distinta, habiéndose modificado para que sólo realice lo que se quiere para este test de escucha.

4.7.3. Configuración del test de escucha desarrollado

Tras haber descrito el desarrollo de nuestro test de escucha procederemos a explicar la configuración de dicho test, para posteriormente someter a prueba a los oyentes con él.

Lo primero que hay que tener en cuenta en este apartado es que el test de escucha se divide en dos partes (aunque al final sólo se tengan en cuenta y evalúen los resultados de la segunda parte). La primera parte sería la fase del entrenamiento, en la que se pretende que el oyente aprenda el funcionamiento del test y entienda lo que hay que contestar. Además se puede evaluar posibles oyentes no válidos.

La segunda parte sería el test de escucha como tal, en la que el oyente realiza el test de escucha que se propone estudiar. Esta parte como se comentó en el apartado 2.2, debe durar como máximo 20 minutos.

Dicho lo cual, se realizaron dos configuraciones distintas del test de escucha. Una para realizar el entrenamiento, otra para realizar el test de escucha a estudio.

La configuración del test de escucha de entrenamiento fue sencilla. Consiste en una única sesión con el procedimiento usado de la herramienta del test de escucha desarrollado (Procedimiento de técnica del cuadro de repertorio RGT). Se crearon tres triadas, cada una con un caso concreto que posteriormente se quería evaluar. En la primera triada la diferenciación entre pistas de audio era por reverberación sobre todo, en la segunda era por proximidad y en la tercera, por inteligibilidad. Con estos ejemplos, el oyente aprenderá a diferenciar según estos tres parámetros que son con los que el test de escucha evalúa la diferencia en las triadas. Además al oyente le sirve para que se habitúe al test de escucha y pueda realizar el test de forma óptima.

En cambio, la configuración del test de escucha fue algo más compleja. Para escoger el número de sesiones del test de escucha y el número de triadas de cada sesión hubo que realizar unos cálculos para saber el número mínimo de veces que se debían experimentar cada triada. Se han configurado con las 108 pistas auralizadas, 54 triadas. Cada triada debe realizarse por lo menos 10 veces, y considerando que se va a realizar el test al menos a 30 personas, se decidió dividir el test en tres sesiones. Cada sesión con 18 triadas.

Por lo tanto, el test de escucha consiste en tres sesiones, realizadas con el procedimiento de técnica de cuadro de repertorio (RGT). En cada sesión, hay 18 triadas con tres pistas de audio cada una (una de ellas repetida).

Se configuró de tal forma, que no se repitiesen pistas de audio entre una sesión y otra. Y que todas las sesiones tuviesen una triada con cada punto de cada recinto y con cada tipo de audio para cada recinto. Así que la configuración se generó de forma que estuviesen las sesiones igualmente distribuidas.

En la Tabla. V, Tabla. VI y Tabla. VII, se muestran la configuraciones que se han llevado a cabo y que se han especificado y descrito en este apartado.

ID del estímulo	Nombre abreviado en test	Nombre de pista de audio auralizada	Recinto	Respuesta Impulsiva	Audio
1	'SC-1-1-M'	'PistaAuralizada_SC_1-1-M.wav'	Iglesia de San Cebrián de Mazote	1-Medida	1 - Voz hablada
2	'SC-1-1-S'	'PistaAuralizada_SC_1-1-S.wav'		1-Simulada	
3	'SC-1-3-M'	'PistaAuralizada_SC_1-3-M.wav'		3-Medida	
4	'SC-1-3-S'	'PistaAuralizada_SC_1-3-S.wav'		3-Simulada	
5	'SC-1-5-M'	'PistaAuralizada_SC_1-5-M.wav'		5-Medida	
6	'SC-1-5-S'	'PistaAuralizada_SC_1-5-S.wav'		5-Simulada	
7	'SC-2-1-M'	'PistaAuralizada_SC_2-1-M.wav'		1-Medida	2 - Palmadas
8	'SC-2-1-S'	'PistaAuralizada_SC_2-1-S.wav'		1-Simulada	
9	'SC-2-3-M'	'PistaAuralizada_SC_2-3-M.wav'		3-Medida	
10	'SC-2-3-S'	'PistaAuralizada_SC_2-3-S.wav'		3-Simulada	
11	'SC-2-5-M'	'PistaAuralizada_SC_2-5-M.wav'		5-Medida	
12	'SC-2-5-S'	'PistaAuralizada_SC_2-5-S.wav'		5-Simulada	
13	'SC-3-1-M'	'PistaAuralizada_SC_3-1-M.wav'		1-Medida	3 - Música
14	'SC-3-1-S'	'PistaAuralizada_SC_3-1-S.wav'		1-Simulada	
15	'SC-3-3-M'	'PistaAuralizada_SC_3-3-M.wav'		3-Medida	
16	'SC-3-3-S'	'PistaAuralizada_SC_3-3-S.wav'		3-Simulada	
17	'SC-3-5-M'	'PistaAuralizada_SC_3-5-M.wav'		5-Medida	
18	'SC-3-5-S'	'PistaAuralizada_SC_3-5-S.wav'		5-Simulada	
19	'SI-1-1-M'	'PistaAuralizada_SI_1-1-M.wav'	Iglesia de Santo Domingo de Silos	1-Medida	1 - Voz hablada
20	'SI-1-1-S'	'PistaAuralizada_SI_1-1-S.wav'		1-Simulada	
21	'SI-1-2-M'	'PistaAuralizada_SI_1-2-M.wav'		2-Medida	
22	'SI-1-2-S'	'PistaAuralizada_SI_1-2-S.wav'		2-Simulada	
23	'SI-1-3-M'	'PistaAuralizada_SI_1-3-M.wav'		3-Medida	
24	'SI-1-3-S'	'PistaAuralizada_SI_1-3-S.wav'		3-Simulada	
25	'SI-2-1-M'	'PistaAuralizada_SI_2-1-M.wav'		1-Medida	2 - Palmadas
26	'SI-2-1-S'	'PistaAuralizada_SI_2-1-S.wav'		1-Simulada	
27	'SI-2-2-M'	'PistaAuralizada_SI_2-2-M.wav'		2-Medida	
28	'SI-2-2-S'	'PistaAuralizada_SI_2-2-S.wav'		2-Simulada	
29	'SI-2-3-M'	'PistaAuralizada_SI_2-3-M.wav'		3-Medida	
30	'SI-2-3-S'	'PistaAuralizada_SI_2-3-S.wav'		3-Simulada	
31	'SI-3-1-M'	'PistaAuralizada_SI_3-1-M.wav'		1-Medida	3 - Música
32	'SI-3-1-S'	'PistaAuralizada_SI_3-1-S.wav'		1-Simulada	
33	'SI-3-2-M'	'PistaAuralizada_SI_3-2-M.wav'		2-Medida	
34	'SI-3-2-S'	'PistaAuralizada_SI_3-2-S.wav'		2-Simulada	
35	'SI-3-3-M'	'PistaAuralizada_SI_3-3-M.wav'		3-Medida	
36	'SI-3-3-S'	'PistaAuralizada_SI_3-3-S.wav'		3-Simulada	
37	'SJ-1-6-M'	'PistaAuralizada_SJ_1-6-M.wav'	Iglesia de San Juan de Baños	6-Medida	1 - Voz hablada
38	'SJ-1-6-S'	'PistaAuralizada_SJ_1-6-S.wav'		6-Simulada	
39	'SJ-1-13-M'	'PistaAuralizada_SJ_1-13-M.wav'		13-Medida	
40	'SJ-1-13-S'	'PistaAuralizada_SJ_1-13-S.wav'		13-Simulada	
41	'SJ-1-14-M'	'PistaAuralizada_SJ_1-14-M.wav'		14-Medida	
42	'SJ-1-14-S'	'PistaAuralizada_SJ_1-14-S.wav'		14-Simulada	
43	'SJ-2-6-M'	'PistaAuralizada_SJ_2-6-M.wav'		6-Medida	2 - Palmadas
44	'SJ-2-6-S'	'PistaAuralizada_SJ_2-6-S.wav'		6-Simulada	
45	'SJ-2-13-M'	'PistaAuralizada_SJ_2-13-M.wav'		13-Medida	
46	'SJ-2-13-S'	'PistaAuralizada_SJ_2-13-S.wav'		13-Simulada	
47	'SJ-2-14-M'	'PistaAuralizada_SJ_2-14-M.wav'		14-Medida	
48	'SJ-2-14-S'	'PistaAuralizada_SJ_2-14-S.wav'		14-Simulada	
49	'SJ-3-6-M'	'PistaAuralizada_SJ_3-6-M.wav'		6-Medida	3 - Música
50	'SJ-3-6-S'	'PistaAuralizada_SJ_3-6-S.wav'		6-Simulada	
51	'SJ-3-13-M'	'PistaAuralizada_SJ_3-13-M.wav'		13-Medida	
52	'SJ-3-13-S'	'PistaAuralizada_SJ_3-13-S.wav'		13-Simulada	
53	'SJ-3-14-M'	'PistaAuralizada_SJ_3-14-M.wav'		14-Medida	
54	'SJ-3-14-S'	'PistaAuralizada_SJ_3-14-S.wav'		14-Simulada	

Tabla. V. Configuración de los estímulos del test de escucha

ID del estímulo	Nombre abreviado en test	Nombre de pista de audio auralizada	Recinto	Respuesta Impulsiva	Audio
55	'SL-1-1-M'	'PistaAuralizada_SL_1-1-M.wav'	Iglesia de Santa Lucía del Trampal	1-Medida	1 - Voz hablada
56	'SL-1-1-S'	'PistaAuralizada_SL_1-1-S.wav'		1-Simulada	
57	'SL-1-3-M'	'PistaAuralizada_SL_1-3-M.wav'		3-Medida	
58	'SL-1-3-S'	'PistaAuralizada_SL_1-3-S.wav'		3-Simulada	
59	'SL-1-6-M'	'PistaAuralizada_SL_1-6-M.wav'		6-Medida	
60	'SL-1-6-S'	'PistaAuralizada_SL_1-6-S.wav'		6-Simulada	
61	'SL-2-1-M'	'PistaAuralizada_SL_2-1-M.wav'		1-Medida	2 - Palmadas
62	'SL-2-1-S'	'PistaAuralizada_SL_2-1-S.wav'		1-Simulada	
63	'SL-2-3-M'	'PistaAuralizada_SL_2-3-M.wav'		3-Medida	
64	'SL-2-3-S'	'PistaAuralizada_SL_2-3-S.wav'		3-Simulada	
65	'SL-2-6-M'	'PistaAuralizada_SL_2-6-M.wav'		6-Medida	
66	'SL-2-6-S'	'PistaAuralizada_SL_2-6-S.wav'		6-Simulada	
67	'SL-3-1-M'	'PistaAuralizada_SL_3-1-M.wav'		1-Medida	3 - Música
68	'SL-3-1-S'	'PistaAuralizada_SL_3-1-S.wav'		1-Simulada	
69	'SL-3-3-M'	'PistaAuralizada_SL_3-3-M.wav'		3-Medida	
70	'SL-3-3-S'	'PistaAuralizada_SL_3-3-S.wav'		3-Simulada	
71	'SL-3-6-M'	'PistaAuralizada_SL_3-6-M.wav'		6-Medida	
72	'SL-3-6-S'	'PistaAuralizada_SL_3-6-S.wav'		6-Simulada	
73	'SM-1-3-M'	'PistaAuralizada_SM_1-3-M.wav'	Iglesia de Santa María de Melque	3-Medida	1 - Voz hablada
74	'SM-1-3-S'	'PistaAuralizada_SM_1-3-S.wav'		3-Simulada	
75	'SM-1-4-M'	'PistaAuralizada_SM_1-4-M.wav'		4-Medida	
76	'SM-1-4-S'	'PistaAuralizada_SM_1-4-S.wav'		4-Simulada	
77	'SM-1-5-M'	'PistaAuralizada_SM_1-5-M.wav'		5-Medida	
78	'SM-1-5-S'	'PistaAuralizada_SM_1-5-S.wav'		5-Simulada	
79	'SM-2-3-M'	'PistaAuralizada_SM_2-3-M.wav'		3-Medida	2 - Palmadas
80	'SM-2-3-S'	'PistaAuralizada_SM_2-3-S.wav'		3-Simulada	
81	'SM-2-4-M'	'PistaAuralizada_SM_2-4-M.wav'		4-Medida	
82	'SM-2-4-S'	'PistaAuralizada_SM_2-4-S.wav'		4-Simulada	
83	'SM-2-5-M'	'PistaAuralizada_SM_2-5-M.wav'		5-Medida	
84	'SM-2-5-S'	'PistaAuralizada_SM_2-5-S.wav'		5-Simulada	
85	'SM-3-3-M'	'PistaAuralizada_SM_3-3-M.wav'		3-Medida	3 - Música
86	'SM-3-3-S'	'PistaAuralizada_SM_3-3-S.wav'		3-Simulada	
87	'SM-3-4-M'	'PistaAuralizada_SM_3-4-M.wav'		4-Medida	
88	'SM-3-4-S'	'PistaAuralizada_SM_3-4-S.wav'		4-Simulada	
89	'SM-3-5-M'	'PistaAuralizada_SM_3-5-M.wav'		5-Medida	
90	'SM-3-5-S'	'PistaAuralizada_SM_3-5-S.wav'		5-Simulada	
91	'SP-1-2-M'	'PistaAuralizada_SP_1-2-M.wav'	Iglesia de San Pedro de la Nave	2-Medida	1 - Voz hablada
92	'SP-1-2-S'	'PistaAuralizada_SP_1-2-S.wav'		2-Simulada	
93	'SP-1-4-M'	'PistaAuralizada_SP_1-4-M.wav'		4-Medida	
94	'SP-1-4-S'	'PistaAuralizada_SP_1-4-S.wav'		4-Simulada	
95	'SP-1-5-M'	'PistaAuralizada_SP_1-5-M.wav'		5-Medida	
96	'SP-1-5-S'	'PistaAuralizada_SP_1-5-S.wav'		5-Simulada	
97	'SP-2-2-M'	'PistaAuralizada_SP_2-2-M.wav'		2-Medida	2 - Palmadas
98	'SP-2-2-S'	'PistaAuralizada_SP_2-2-S.wav'		2-Simulada	
99	'SP-2-4-M'	'PistaAuralizada_SP_2-4-M.wav'		4-Medida	
100	'SP-2-4-S'	'PistaAuralizada_SP_2-4-S.wav'		4-Simulada	
101	'SP-2-5-M'	'PistaAuralizada_SP_2-5-M.wav'		5-Medida	
102	'SP-2-5-S'	'PistaAuralizada_SP_2-5-S.wav'		5-Simulada	
103	'SP-3-2-M'	'PistaAuralizada_SP_3-2-M.wav'		2-Medida	3 - Música
104	'SP-3-2-S'	'PistaAuralizada_SP_3-2-S.wav'		2-Simulada	
105	'SP-3-4-M'	'PistaAuralizada_SP_3-4-M.wav'		4-Medida	
106	'SP-3-4-S'	'PistaAuralizada_SP_3-4-S.wav'		4-Simulada	
107	'SP-3-5-M'	'PistaAuralizada_SP_3-5-M.wav'		5-Medida	
108	'SP-3-5-S'	'PistaAuralizada_SP_3-5-S.wav'		5-Simulada	

Tabla. VI. Configuración de los estímulos del test de escucha

En estas dos tablas anteriores (Tabla. V y Tabla. VI), aparece la configuración que se ha llevado a cabo con las pistas de audio con los estímulos en el test de escucha. Cada pista de audio auralizada tiene un código que lo identifica, además de estar relacionado con un recinto, un punto de ese recinto, la respuesta impulsiva (simulada o medida) de ese punto del recinto y de un audio.

Sesión 1				Sesión 2				Sesión 3			
ID Triada	ID Pista 1	ID Pista 2	ID Pista 3	ID Triada	ID Pista 1	ID Pista 2	ID Pista 3	ID Triada	ID Pista 1	ID Pista 2	ID Pista 3
1	1	2	2	19	5	6	6	37	3	4	4
2	9	10	9	20	7	8	7	38	11	12	11
3	17	17	18	21	15	15	16	39	13	13	14
4	19	20	19	22	23	24	23	40	21	22	21
5	27	28	28	23	25	26	26	41	29	30	30
6	35	35	36	24	33	33	34	42	31	31	32
7	37	38	37	25	41	42	41	43	39	40	39
8	45	45	46	26	43	43	44	44	47	47	48
9	53	54	54	27	51	52	52	45	49	50	50
10	55	56	55	28	59	60	59	46	57	58	57
11	63	63	64	29	61	61	62	47	65	65	66
12	71	72	71	30	69	70	69	48	67	68	67
13	73	74	74	31	77	78	78	49	75	76	76
14	81	81	82	32	79	79	80	50	83	83	84
15	89	90	89	33	87	88	87	51	85	86	85
16	91	92	92	34	95	96	96	52	93	94	94
17	99	100	100	35	97	98	98	53	101	102	102
18	107	107	108	36	105	105	106	54	103	103	104

Tabla. VII. Configuraciones de los estímulos de cada triada del test de escucha divididos en las tres sesiones

Por último, en la Tabla. VII se muestra la configuración completa del test de escucha. De cada una de las tres sesiones del test, se especifican las 18 triadas que tiene cada una y de qué estímulos está compuesta. En cada triada, aparecen los tres estímulos, uno de ellos repetido. Aparece el ID (identificador) del estímulo asignado a la pista de cada triada: Pista 1, Pista 2 o Pista 3.

4.7.4. Obtención de resultados del test de escucha y su tratamiento

Como ya se comentó en el apartado 4.7.2, los resultados del test de escucha de cada oyente se guardan en el archivo *resultados.txt*. Pero en este archivo se guardan de forma arcaica. Estos valores si se quieren evaluar, se tienen que tratar a parte.

Por lo tanto, se ha generado un formato en Excel, en el que se pondrán los valores que se obtienen en *resultados.txt* y con ellos directamente se rellenan tablas con los que se puede evaluar los resultados. El archivo de resultados debe abrirse desde Excel, así los valores que ha dado el test aparecen en columnas (aparecen mejor ordenados que en el bloc de notas o editor de texto) y se puede copiar directamente y pegar en el Excel copiado del formato de resultados.

Para cada sesión se ha creado un formato distinto, denominándose: FORMATO-1, FORMATO-2 y FORMATO-3, los formatos de resultados para sesión 1, 2 y 3 respectivamente. En el anexo del Trabajo Fin de Máster está el Excel de resultados y el formato de los resultados.

En el capítulo 5 de resultados, aparecerán tablas de estos formatos de Excel que se han creado para tratar y evaluar los resultados que se han generado del test de escucha. Así que en esta parte de la memoria se podrán ver detalladamente cómo se muestran y que valores se han querido mostrar y evaluar.

5 Resultados obtenidos

5.1. Resultados de cada oyente

Después de haber realizado el test de escucha a todos los oyentes, se han registrado los resultados de cada test en el archivo resultados.txt dentro del directorio de WHISPER. Este archivo guarda diferentes datos del test de escucha realizado por el oyente. Estos datos se especificaron en el apartado 4.7.2 y también en el 4.7.4.

Por ejemplo, para un oyente en particular ("jose"), se copian los datos registrados del test de escucha y se pegan en el formato de resultados de la sesión determinada que ha realizado. Al pegarse en la hoja de Excel quedaría de la forma en la que aparece la Figura 30. Como se comentó en el apartado 4.7.4, ya se ha generado un formato de fichas de Excel para cada sesión, que al pegar los resultados (Figura 30), rellenan diferentes tablas, que posteriormente usaremos para comparar con los resultados del resto de oyentes y para obtener las conclusiones de la evaluación subjetiva.

TRIADA	Pegar							
1	jose - 1 2 = 3	0	1	1	2	0,79487	0,35897	0,34188
2	jose - 1 1 = 3	1	0	1	2	0,44017	0,58974	0,53419
3	jose - 1 1 = 2 = 3	1	1	1	0	0,5	0,5	0,5
4	jose - 1 1 = 3	1	0	1	1	0,52564	0,52564	0,45727
5	jose - 1 2 = 3	0	1	1	2	0,60256	0,44444	0,4188
6	jose - 1 1 = 2	1	1	0	2	0,4188	0,5641	0,61111
7	jose - 1 1 = 3	1	0	1	1	0,37179	0,5812	0,59402
8	jose - 1 1 = 2	1	1	0	3	0,52564	0,55556	0,4359
9	jose - 1 2 = 3	0	1	1	3	0,48718	0,52992	0,46581
10	jose - 1 1 = 3	1	0	1	1	0,5	0,51709	0,48718
11	jose - 1 1 = 2	1	1	0	2	0,3547	0,47436	0,52564
12	jose - 1 1 = 3	1	0	1	1	0,58974	0,48718	0,38889
13	jose - 1 2 = 3	0	1	1	3	0,73504	0,33333	0,36752
14	jose - 1 1 = 2	1	1	0	2	0,5	0,46581	0,4359
15	jose - 1 1 = 3	1	0	1	1	0,5641	0,47863	0,47009
16	jose - 1 2 = 3	0	1	1	2	0,55983	0,38889	0,35043
17	jose - 1 2 = 3	0	1	1	1	0,59402	0,42735	0,42308
18	jose - 1 1 = 2	1	1	0	2	0,41026	0,54274	0,68376

Figura 30. Resultados del test de escucha que se han generado por un oyente y que se pegan en cada ficha que se genera para cada oyente

Al pegar los resultados del oyente en la ficha de resultados de Excel, se rellenan con estos datos las tablas que evaluaremos. Estas aparecen en la Tabla. VIII, Tabla. IX y Tabla. X y se generará una por cada test de escucha realizado por cada oyente.

	Pistas en cada triada												
TRIADA	1	2	3	TRIADA	1	2	3			% DIFER.	Reverb	Proxim	Int/clar.
1	1	2	2	1	0	1	1	2 = 3	1	2	0,79	0,36	0,34
2	3	4	3	2	1	0	1	1 = 3	1	2	0,44	0,59	0,53
3	5	5	6	3	1	1	1	1 = 2 = 3	0	0	0,50	0,50	0,50
4	19	20	19	4	1	0	1	1 = 3	1	1	0,53	0,53	0,46
5	21	22	22	5	0	1	1	2 = 3	1	2	0,60	0,44	0,42
6	23	23	24	6	1	1	0	1 = 2	1	2	0,42	0,56	0,61
7	37	38	37	7	1	0	1	1 = 3	1	1	0,37	0,58	0,59
8	39	39	40	8	1	1	0	1 = 2	1	3	0,53	0,56	0,44
9	41	42	42	9	0	1	1	2 = 3	1	3	0,49	0,53	0,47
10	55	56	55	10	1	0	1	1 = 3	1	1	0,50	0,52	0,49
11	57	57	58	11	1	1	0	1 = 2	1	2	0,35	0,47	0,53
12	59	60	59	12	1	0	1	1 = 3	1	1	0,59	0,49	0,39
13	73	74	74	13	0	1	1	2 = 3	1	3	0,74	0,33	0,37
14	75	75	76	14	1	1	0	1 = 2	1	2	0,50	0,47	0,44
15	77	78	77	15	1	0	1	1 = 3	1	1	0,56	0,48	0,47
16	91	92	92	16	0	1	1	2 = 3	1	2	0,56	0,39	0,35
17	93	94	94	17	0	1	1	2 = 3	1	1	0,59	0,43	0,42
18	95	95	96	18	1	1	0	1 = 2	1	2	0,41	0,54	0,68

Tabla. VIII. Tabla comparativa entre configuración triadas del test y respuestas del oyente y valores de diferencia entre pistas de audio.

La Tabla. VIII es la primera que se genera al pegar los resultados del archivo resultados.txt. Esta tabla se rellena con todos los datos que se han pegado, comparándose las pistas de audio que el oyente ha contestado como iguales con la configuración determinada del test de escucha para la sesión evaluada. Si el oyente percibió que las pistas de audio iguales son las configuradas, se marca con un 1 en la columna siguiente a la de la respuesta de “qué pistas son iguales”. Si por el contrario, el oyente no acierta en las pistas que son iguales (bien porque le parezcan las tres pistas de audio iguales, o porque perciba iguales dos pistas de audio que son diferentes), se marcará un 0 en la siguiente columna. En el ejemplo de la Tabla. VIII, el oyente ha acertado todas, excepto la triada 3, que ha contestado que las tres pistas de audio las ha percibido como iguales.

Las siguientes 4 columnas de la Tabla. VIII se han rellenado con los valores de diferencia entre pistas de audio que el oyente contestó en el test de escucha. La primera para la diferencia entre las pistas de audio en general, siendo: 0 - no hay diferencia, 1 - poca diferencia, 2 - diferencia moderada, 3 - mucha diferencia. Las tres columnas posteriores recogen las diferencias de tres parámetros acústicos determinados (reverberación, proximidad y claridad/inteligibilidad respectivamente).

TRIADA	Seco/Reverberante			Próximo/Lejano			Inteligible/Claro			Σ Difer.	Prom. Difer.
	1	2	Dif.	1	2	Dif.	1	2	Dif.		
1	0,21	0,79	0,59	0,64	0,36	0,28	0,66	0,34	0,32	1,19	0,40
2	0,56	0,44	0,12	0,41	0,59	0,18	0,47	0,53	0,07	0,37	0,12
3	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00
4	0,47	0,53	0,05	0,47	0,53	0,05	0,54	0,46	0,09	0,19	0,06
5	0,40	0,60	0,21	0,56	0,44	0,11	0,58	0,42	0,16	0,48	0,16
6	0,58	0,42	0,16	0,44	0,56	0,13	0,39	0,61	0,22	0,51	0,17
7	0,63	0,37	0,26	0,42	0,58	0,16	0,41	0,59	0,19	0,61	0,20
8	0,47	0,53	0,05	0,44	0,56	0,11	0,56	0,44	0,13	0,29	0,10
9	0,51	0,49	0,03	0,47	0,53	0,06	0,53	0,47	0,07	0,15	0,05
10	0,50	0,50	0,00	0,48	0,52	0,03	0,51	0,49	0,03	0,06	0,02
11	0,65	0,35	0,29	0,53	0,47	0,05	0,47	0,53	0,05	0,39	0,13
12	0,41	0,59	0,18	0,51	0,49	0,03	0,61	0,39	0,22	0,43	0,14
13	0,26	0,74	0,47	0,67	0,33	0,33	0,63	0,37	0,26	1,07	0,36
14	0,50	0,50	0,00	0,53	0,47	0,07	0,56	0,44	0,13	0,20	0,07
15	0,44	0,56	0,13	0,52	0,48	0,04	0,53	0,47	0,06	0,23	0,08
16	0,44	0,56	0,12	0,61	0,39	0,22	0,65	0,35	0,30	0,64	0,21
17	0,41	0,59	0,19	0,57	0,43	0,15	0,58	0,42	0,15	0,49	0,16
18	0,59	0,41	0,18	0,46	0,54	0,09	0,32	0,68	0,37	0,63	0,21

Tabla. IX. Valores de diferencia con respecto los tres parámetros acústicos que el oyente contestó en cada triada

En la Tabla. IX aparecen los valores de diferenciación con respecto ciertos parámetros acústicos (seco/reverberante, próximo/lejano y inteligible/claro) para cada triada evaluada por el oyente. En la última columna se realiza el promedio entre todas.

Además, en la Tabla. X se muestran los valores principales de las tablas anteriores (Tabla. VIII y Tabla. IX) comparándolos con los distintos valores de JND de cada punto del recinto.

			Valores de JND								
Iglesia	T30	Punto	Promedio	1 KHz	MID	T30 1KHz	T30 MID	Codigo aural.		DIFER.	Prom.
SC	2,84	SCF1M2	10,08	11,34	10,79	1,47	1,57	X-1-M, X-1-S	1		2
SC	2,84	SCF1M8	6,66	4,53	5,56	0,12	0,24	X-3-M, X-3-S	1		2
SC	2,84	SCF1M11	6,13	4,56	5,54	0,46	0,47	X-5-M, X-5-S	0		0
SI	6,34	SIF1P1	8,62	4,28	3,94	0,59	0,28	X-1-M, X-1-S	1		1
SI	6,34	SIF1P12	3,65	2,14	3,11	0,35	0,43	X-2-M, X-2-S	1		2
SI	6,34	SIF1P18	3,64	1,61	1,55	0,12	0,18	X-3-M, X-3-S	1		2
SJ	1,32	SJF1M7	5,39	5,99	5,34	0,75	0,81	X-6-M, X-6-S	1		1
SJ	1,32	SJF1M14	6,65	6,26	5,80	0,15	0,83	X-13-M, X-13-S	1		3
SJ	1,32	SJF1M15	3,08	2,21	2,13	0,18	0,61	X-14-M, X-14-S	1		3
SL	0,845	SLF1M1	4,61	1,91	3,21	3,26	4,66	X-1-M, X-1-S	1		1
SL	0,845	SLF1M4	3,17	3,52	2,57	1,91	2,08	X-3-M, X-3-S	1		2
SL	0,845	SLF1M7	2,10	1,67	1,26	1,86	1,17	X-6-M, X-6-S	1		1
SM	2,05	SMF0M3	5,43	5,30	4,80	0,32	0,52	X-3-M, X-3-S	1		3
SM	2,05	SMF0M4	1,65	0,62	0,39	1,13	0,52	X-4-M, X-4-S	1		2
SM	2,05	SMF0M5	2,32	1,05	0,42	1,14	1,20	X-5-M, X-5-S	1		1
SP	1,17	SPF1M3	3,06	4,03	3,33	0,83	0,14	X-2-M, X-2-S	1		2
SP	1,17	SPF1M5	2,44	1,70	1,46	1,03	0,34	X-4-M, X-4-S	1		1
SP	1,17	SPF1M6	1,92	1,23	1,24	0,39	0,25	X-5-M, X-5-S	1		2

Tabla. X. Resumen de resultados del oyente en el test de escucha

En la siguiente Tabla. XI, se muestran los oyentes que han realizado el test de escucha, con el número de test y la sesión que han realizado. Además de su edad y sexo.

TEST	SESION	SUJETO	SEXO	EDAD	TEST	SESION	SUJETO	SEXO	EDAD
1	1	jose	H	27	30	3	laura	M	28
2	2	patri	M	28	31	1	manu II	H	34
3	3	antonio	H	50	32	2	mari jose	M	25
4	1	presketch	M	27	33	3	patricia	M	30
5	2	jose Ignacio	H	26	34	1	mjose	M	25
6	3	julen	H	25	35	2	asier	H	27
7	1	salvo	H	26	36	3	carlos I	h	25
8	2	mora	M	83	37	1	marty mcfly	H	26
9	3	nacho	H	27	38	2	alberto I	h	23
10	1	piedad	M	53	39	3	alberto II	h	56
11	2	lala	M	55	40	1	alberto III	h	22
12	3	cecilia	M	23	41	2	carlos II	h	28
13	1	J Ign	H	56	42	3	jimena	m	23
14	2	amelia	M	19	43	1	elena	m	22
15	3	josean	H	20	44	2	piluca	m	52
16	1	xabi	H	24	45	3	loli	m	51
17	2	ceci	M	23	46	1	carlos III	h	54
18	3	malala	M	56	47	2	rebeca	m	25
19	1	francis	H	24	48	3	javi	h	24
20	2	jose antonio	H	22	49	1	izaskun	m	26
21	3	melita	M	18	50	2	nerea	m	26
22	1	cortes	M	27	51	3	reme	m	54
23	2	maria	M	25	52	1	Ángel	h	53
24	3	maricor	M	26	53	2	Antonio	h	30
25	1	daniel	H	25	54	3	Alexander	H	30
26	2	dani	H	24	55	1	Almudena	m	32
27	3	manu I	H	30	56	2	Javier	h	25
28	1	m. eulalia	M	54	57	3	Marta	m	27
29	2	fran	H	34	58	1	Valero	m	46

Tabla. XI. Datos (número de test, sesión del test realizado, identificador del sujeto, sexo y edad) de los oyentes que han realizado el test de escucha

Con los datos de la tabla anterior, se obtienen los promedios de las edades y el número de hombres y mujeres por cada sesión en la Tabla. XII. Además, en la Figura 31 se muestra en una gráfica por cada sesión la edad de los sujetos que han participado en la evaluación subjetiva, viéndose así los rangos de edades en cada sesión.

SESION	EDAD PROMEDIO	Nº HOMBRES	Nº MUJERES
1	34,2	11	9
2	31,6	9	10
3	33,0	9	10
	32,9	9,7	9,7

Tabla. XII. Media de edad de los oyentes y número de hombres y mujeres de cada sesión

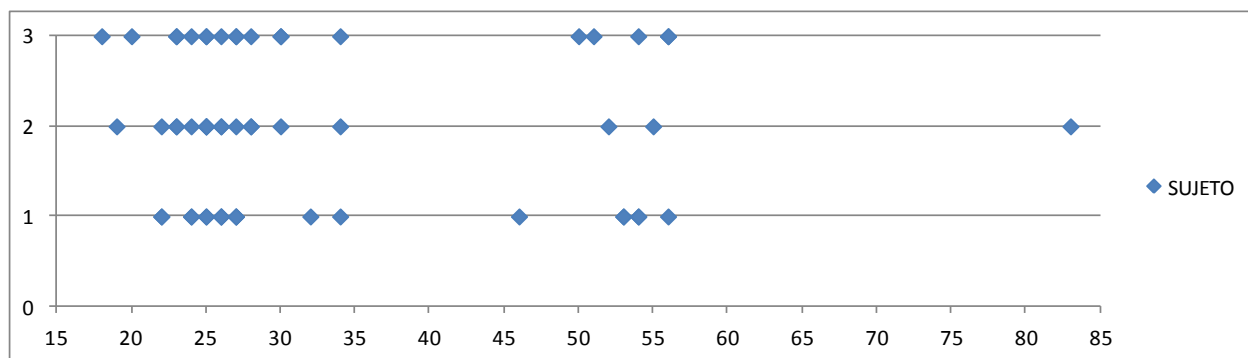


Figura 31. Rango de edades de los oyentes en cada sesión

En la Tabla. XII y Figura 31 se puede observar cómo las tres sesiones tienen un rango y promedio de edades muy similar, además de tener también un número parecido de hombres y mujeres que han realizado cada sesión del test de escucha. La edad media del test de escucha es 32,9 considerándose una edad muy apropiada para este tipo de experimento y, en total, han realizado el test el mismo número de hombres que de mujeres, 29. En este aspecto, se considera satisfactoria la dispersión de edad y género del test de escucha para poder realizar una buena evaluación subjetiva.

5.2. Resultados sesión 1

En este apartado se van a mostrar las tablas de resultados de los oyentes que realizaron la sesión 1 del test de escucha (se encuentran en Resultados - Sesión 1.xlsx). En las tablas: Tabla. XIII, Tabla. XIV, Tabla. XV y Tabla. XVI se agrupan los resultados de los oyentes que han participado en la sesión 1 del test de escucha. Por cada sujeto se muestran tres columnas, y para cada columna tiene distintos valores por cada triada. En la primera columna se muestra 1 (acierto) ó 0 (fallo), dependiendo de si el oyente ha percibido correctamente qué pistas son iguales.

En la segunda columna aparecen los valores de diferencia que ha contestado cada oyente en cada triada, siendo: 0 - no hay diferencia, 1 - poca diferencia, 2 -

diferencia moderada, 3 - mucha diferencia. La columna posterior es para el promedio de las diferencias de tres parámetros acústicos determinados: reverberación, proximidad y claridad/inteligibilidad. Los valores de cada columna están coloreados de un color u otro dependiendo de si son mayores o menores o de si es acierto o fallo. Así, visualmente se podrá evaluar mejor los resultados de cada oyente.

	Pistas en cada triada				Sujeto 1			Sujeto 4			Sujeto 7			Sujeto 10		
TRIADA	1	2	3	TRIADA		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Dife
1	1	2	2	1	1	2	0,40	1	2	0,35	1	2	0,51	1	3	0,40
2	3	4	3	2	1	2	0,12	1	2	0,34	1	2	0,34	1	3	0,27
3	5	5	6	3	0	0	0,00	1	1	0,18	1	1	0,18	1	1	0,21
4	19	20	19	4	1	1	0,06	1	2	0,25	1	2	0,28	1	3	0,29
5	21	22	22	5	1	2	0,16	1	2	0,28	1	1	0,27	1	3	0,43
6	23	23	24	6	1	2	0,17	1	2	0,29	1	1	0,20	1	2	0,35
7	37	38	37	7	1	1	0,20	1	2	0,29	1	2	0,31	1	2	0,39
8	39	39	40	8	1	3	0,10	1	2	0,25	1	2	0,07	1	2	0,34
9	41	42	42	9	1	3	0,05	1	1	0,17	1	1	0,28	1	2	0,40
10	55	56	55	10	1	1	0,02	1	2	0,30	1	2	0,14	1	2	0,28
11	57	57	58	11	1	2	0,13	1	2	0,27	1	2	0,21	1	1	0,35
12	59	60	59	12	1	1	0,14	1	1	0,15	1	2	0,17	0	0	0,00
13	73	74	74	13	1	3	0,36	1	2	0,32	1	1	0,28	1	2	0,31
14	75	75	76	14	1	2	0,07	1	1	0,15	1	2	0,21	1	1	0,31
15	77	78	77	15	1	1	0,08	1	2	0,23	1	2	0,21	1	2	0,27
16	91	92	92	16	1	2	0,21	1	2	0,23	1	2	0,25	1	3	0,23
17	93	94	94	17	1	1	0,16	1	2	0,28	1	2	0,38	1	1	0,34
18	95	95	96	18	1	2	0,21	1	2	0,28	1	2	0,25	1	2	0,31

Tabla. XIII. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Primera Parte)

Sujeto 13			Sujeto 16			Sujeto 19			Sujeto 22			Sujeto 25			Sujeto 28		
DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer	
1	2	0,33	1	3	0,65	1	2	0,42	1	2	0,47	1	2	0,50	1	2	0,62
1	3	0,33	1	2	0,47	1	2	0,30	1	1	0,30	1	2	0,23	1	2	0,32
0	0	0,00	1	1	0,19	1	1	0,07	0	0	0,00	1	1	0,20	1	1	0,41
0	0	0,00	1	3	0,53	1	1	0,21	1	1	0,19	1	2	0,10	1	1	0,36
1	2	0,40	1	2	0,33	1	2	0,29	1	2	0,31	1	2	0,27	1	2	0,37
1	2	0,40	1	3	0,48	1	3	0,38	1	2	0,22	1	2	0,07	1	2	0,36
1	2	0,33	1	2	0,67	1	2	0,24	1	2	0,27	1	2	0,40	1	1	0,32
1	3	0,33	1	3	0,53	1	3	0,38	1	3	0,27	1	3	0,40	1	2	0,32
1	1	0,40	1	2	0,53	1	2	0,31	0	0	0,00	1	2	0,22	1	2	0,35
0	0	0,00	1	3	0,80	1	2	0,33	1	2	0,34	1	1	0,19	1	1	0,31
1	3	0,40	1	2	0,60	1	1	0,25	1	3	0,50	1	2	0,19	1	1	0,34
1	1	0,27	1	2	0,53	1	2	0,35	1	1	0,47	1	1	0,13	1	1	0,24
1	1	0,20	1	2	0,73	1	3	0,47	1	2	0,27	1	1	0,16	1	2	0,32
1	1	0,20	1	2	0,27	1	1	0,20	1	2	0,46	1	1	0,08	1	1	0,32
1	1	0,20	1	2	0,53	1	2	0,35	1	2	0,56	1	2	0,20	1	2	0,33
1	1	0,33	1	3	0,67	1	3	0,57	1	3	0,49	1	2	0,24	1	1	0,30
1	2	0,40	1	3	0,40	1	1	0,26	1	3	0,39	1	1	0,13	1	2	0,37
1	1	0,27	1	1	0,47	1	3	0,55	1	2	0,40	1	2	0,29	1	2	0,26

Tabla. XIV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Segunda Parte)

Sujeto 31			Sujeto 34			Sujeto 37			Sujeto 40			Sujeto 43			Sujeto 46			Sujeto 49		
DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer	
1	3	0,44	1	3	0,60	1	2	0,36	1	2	0,40	1	2	0,72	1	2	0,27	1	2	0,25
1	3	0,23	1	2	0,44	1	3	0,16	1	3	0,23	1	2	0,56	1	3	0,21	1	2	0,26
1	1	0,03	1	1	0,44	1	1	0,13	0	0	0,00	1	1	0,09	1	1	0,13	1	1	0,03
1	2	0,17	1	2	0,54	1	2	0,30	1	1	0,22	1	1	0,69	1	3	0,23	1	2	0,22
1	3	0,30	1	3	0,46	1	3	0,33	1	2	0,32	1	3	0,76	1	3	0,35	1	3	0,30
1	3	0,60	1	3	0,58	1	2	0,27	1	1	0,16	1	3	0,76	1	3	0,10	1	2	0,26
1	2	0,33	1	2	0,56	1	2	0,35	1	1	0,22	1	2	0,84	1	2	0,17	1	1	0,12
1	2	0,27	1	3	0,51	1	3	0,20	1	3	0,42	1	3	0,73	1	3	0,30	1	2	0,35
1	3	1,00	1	2	0,47	1	1	0,17	1	1	0,13	1	3	0,84	1	2	0,12	1	2	0,21
1	2	0,27	1	1	0,44	1	2	0,33	1	1	0,22	1	2	0,71	1	1	0,07	1	1	0,09
1	3	0,50	1	3	0,62	1	2	0,17	1	2	0,31	1	3	0,79	1	3	0,17	1	2	0,24
1	2	0,27	1	2	0,29	1	1	0,20	1	1	0,15	1	2	0,40	1	2	0,17	1	2	0,27
1	3	0,67	1	3	0,58	1	3	0,50	1	2	0,27	1	2	0,76	1	2	0,40	1	2	0,29
1	3	0,33	1	1	0,34	1	1	0,17	1	2	0,21	1	3	0,59	1	2	0,25	1	2	0,25
1	3	0,67	1	2	0,55	1	2	0,27	1	1	0,16	1	2	0,74	1	1	0,10	1	3	0,23
1	3	0,73	1	3	0,54	1	3	0,41	1	3	0,37	1	3	0,84	1	2	0,16	1	2	0,29
1	3	0,53	1	2	0,63	1	2	0,27	1	2	0,28	1	3	0,80	1	3	0,17	1	2	0,25
1	3	0,93	1	3	0,39	1	3	0,30	1	1	0,29	1	2	0,82	1	3	0,18	1	3	0,32

Tabla. XV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Tercera Parte)

	Pistas en cada triada				Sujeto 52			Sujeto 55			Sujeto 58			PROMEDIO		
TRIADA	1	2	3	TRIADA		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer
1	1	2	2	1	1	3	0,46	1	3	0,64	1	3	0,46	1,00	2,35	0,46
2	3	4	3	2	1	3	0,46	1	3	0,17	1	3	0,45	1,00	2,4	0,31
3	5	5	6	3	1	2	0,33	1	2	0,08	1	1	0,06	0,80	0,9	0,14
4	19	20	19	4	1	2	0,19	1	2	0,18	1	3	0,24	0,95	1,8	0,26
5	21	22	22	5	1	3	0,39	1	2	0,14	1	3	0,38	1,00	2,4	0,34
6	23	23	24	6	1	3	0,30	1	2	0,11	1	2	0,30	1,00	2,25	0,32
7	37	38	37	7	1	2	0,36	1	3	0,34	1	2	0,27	1,00	1,85	0,35
8	39	39	40	8	1	3	0,20	1	3	0,26	1	3	0,62	1,00	2,7	0,34
9	41	42	42	9	1	3	0,31	1	3	0,27	1	3	0,36	0,95	1,95	0,33
10	55	56	55	10	1	2	0,40	1	2	0,32	1	2	0,36	0,95	1,6	0,30
11	57	57	58	11	1	3	0,21	1	2	0,21	1	3	0,47	1,00	2,25	0,35
12	59	60	59	12	1	2	0,26	1	2	0,11	1	2	0,32	0,95	1,5	0,24
13	73	74	74	13	1	3	0,67	1	2	0,31	1	3	0,32	1,00	2,2	0,41
14	75	75	76	14	1	2	0,30	1	2	0,07	1	2	0,23	1,00	1,7	0,25
15	77	78	77	15	1	2	0,26	1	3	0,21	1	2	0,23	1,00	1,95	0,32
16	91	92	92	16	1	3	0,51	1	3	0,25	1	3	0,68	1,00	2,5	0,42
17	93	94	94	17	1	3	0,35	1	2	0,19	1	3	0,77	1,00	2,15	0,37
18	95	95	96	18	1	3	0,41	1	3	0,27	1	3	0,64	1,00	2,3	0,39

Tabla. XVI. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha (Cuarta Parte)

La columna más importante para este trabajo es la de diferencia entre auralizaciones. En la Tabla. XVII, se muestra el resumen de los resultados de diferenciación por cada triada de los oyentes en la sesión 1 con una columna promedio de cada triada en la última columna.

	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	Promedio
TRIADA	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.
1	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	2,35
2	2	2	2	3	3	2	2	1	2	2	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	2,4
3	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	1	0,9
4	1	2	2	3	0	3	1	1	2	1	2	2	2	1	1	3	2	2	2	3	1,8
5	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2,4
6	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2	1	3	3	2	3	2	2	2,25
7	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	3	2	1,85
8	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2,7
9	3	1	1	2	1	2	2	0	2	2	3	2	1	1	3	2	2	3	3	3	1,95
10	1	2	2	2	0	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	1,6
11	2	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	2,25
12	1	1	2	0	1	2	3	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1,55
13	3	2	1	2	1	2	3	2	1	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	2,2
14	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	3	1	1	2	3	2	2	2	2	2	1,7
15	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	1	3	2	3	2	1,95
16	2	2	2	3	1	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	2,5
17	1	2	2	1	2	3	1	3	1	2	3	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2,15
18	2	2	2	2	1	1	3	2	2	2	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	2,3

Tabla. XVII. Resumen de resultados de la diferenciación por cada triada de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 1 del test de escucha

5.3. Resultados sesión 2

En este apartado se van a mostrar las tablas de resultados de los oyentes que realizaron la sesión 2 del test de escucha. En las tablas: Tabla. XVIII, Tabla. XIX, Tabla. XX y Tabla. XXI se agrupan los resultados de los oyentes que han participado en la sesión 2 del test de escucha. El formato de estas tablas es el mismo que el que ya se ha explicado en el apartado anterior (5.2) para la sesión 1.

	Pistas en cada triada				Sujeto 2			Sujeto 5			Sujeto 8			Sujeto 11		
TRIADA	1	2	3	TRIADA		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer
19	5	6	6	1	1	3	0,45	1	2	0,23	1	2	0,29	1	2	0,32
20	7	8	7	2	1	3	0,67	1	3	0,27	1	2	0,29	1	3	0,52
21	15	15	16	3	1	1	0,18	1	1	0,00	0	0	0,00	1	2	0,28
22	23	24	23	4	1	2	0,21	1	2	0,09	1	3	0,25	1	2	0,30
23	25	26	26	5	1	1	0,17	1	2	0,18	0	0	0,00	1	2	0,21
24	33	33	34	6	1	1	0,20	1	2	0,20	1	2	0,26	1	2	0,41
25	41	42	41	7	1	2	0,17	1	2	0,21	0	0	0,00	1	1	0,36
26	43	43	44	8	1	3	0,49	1	3	0,25	1	2	0,29	1	3	0,43
27	51	52	52	9	1	2	0,06	1	2	0,21	0	0	0,00	1	2	0,40
28	59	60	59	10	1	2	0,17	1	2	0,13	1	1	0,33	1	2	0,72
29	61	61	62	11	1	1	0,18	1	1	0,09	1	3	0,42	1	2	0,42
30	69	70	69	12	1	1	0,13	1	1	0,13	1	2	0,24	1	2	0,56
31	77	78	78	13	1	2	0,31	1	3	0,26	1	2	0,23	1	2	0,30
32	79	79	80	14	1	2	0,27	1	2	0,20	1	3	0,28	1	2	0,39
33	87	88	87	15	1	1	0,06	1	1	0,13	0	0	0,00	1	2	0,41
34	95	96	96	16	1	2	0,45	1	2	0,24	1	2	0,26	1	3	0,32
35	97	98	98	17	1	2	0,42	1	2	0,18	1	1	0,29	1	3	0,25
36	105	105	106	18	1	2	0,34	1	2	0,40	1	3	0,27	1	2	0,36

Tabla. XVIII. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Primera Parte)

Sujeto 14			Sujeto 17			Sujeto 20			Sujeto 23			Sujeto 26			Sujeto 29		
DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer	
1	2	0,34	1	2	0,41	1	2	0,26	1	2	0,40	1	2	0,33	1	3	0,54
1	3	0,65	1	3	0,40	1	3	0,13	1	3	0,44	1	2	0,16	1	3	0,43
1	2	0,25	1	2	0,27	1	2	0,26	1	1	0,17	1	1	0,09	1	2	0,27
1	2	0,31	1	2	0,31	1	2	0,08	1	1	0,13	1	1	0,20	1	3	0,67
1	2	0,14	1	2	0,28	1	2	0,10	1	1	0,27	1	1	0,03	1	2	0,20
1	1	0,24	1	1	0,20	1	2	0,30	1	1	0,19	1	1	0,14	1	2	0,47
1	1	0,22	1	1	0,19	1	2	0,21	1	1	0,32	1	2	0,11	1	3	0,40
1	3	0,33	1	3	0,36	1	2	0,27	1	3	0,51	1	2	0,12	1	3	0,43
1	2	0,28	1	3	0,37	1	2	0,27	1	1	0,57	1	1	0,19	1	3	0,73
0	0	0,00	1	2	0,40	1	2	0,24	1	1	0,34	1	1	0,06	1	2	0,47
1	1	0,21	1	3	0,47	1	2	0,35	1	2	0,28	1	1	0,09	1	3	0,40
1	2	0,33	1	2	0,27	1	2	0,26	1	1	0,20	1	1	0,08	1	2	0,44
1	2	0,36	1	2	0,32	1	3	0,32	1	2	0,28	1	1	0,09	1	3	0,47
1	2	0,39	1	3	0,42	1	3	0,24	1	3	0,34	1	1	0,12	1	3	0,40
1	1	0,25	1	2	0,33	1	2	0,26	1	1	0,47	1	1	0,10	1	3	0,60
1	2	0,31	1	2	0,30	1	2	0,33	1	2	0,45	1	2	0,24	1	3	0,73
1	2	0,44	1	3	0,37	1	3	0,34	1	3	0,27	1	2	0,13	1	3	0,40
1	2	0,48	1	3	0,60	1	2	0,32	1	2	0,68	1	2	0,24	1	3	0,80

Tabla. XIX. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Segunda Parte)

Sujeto 32			Sujeto 35			Sujeto 38			Sujeto 41			Sujeto 44			Sujeto 47		
DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer	
1	3	0,66	1	2	0,28	1	2	0,32	1	3	0,37	1	3	0,63	1	2	0,24
1	2	0,50	1	2	0,21	1	3	0,31	1	3	0,27	1	2	0,67	1	3	0,25
0	0	0,00	1	1	0,21	1	1	0,33	1	2	0,11	1	2	0,50	1	2	0,25
1	2	0,48	1	2	0,31	1	3	0,08	1	2	0,33	1	1	0,37	1	1	0,13
1	2	0,39	1	1	0,30	1	2	0,18	1	2	0,00	1	1	0,62	1	2	0,18
1	2	0,45	1	1	0,21	1	2	0,12	1	3	0,17	1	2	0,56	1	2	0,17
1	3	0,51	1	2	0,33	1	2	0,17	1	2	0,12	1	2	0,45	1	2	0,23
1	3	0,69	1	2	0,36	1	2	0,10	1	3	0,30	1	2	0,72	1	2	0,24
1	2	0,63	1	1	0,27	1	2	0,14	1	3	0,17	1	2	0,74	1	1	0,10
1	2	0,48	1	2	0,31	1	2	0,24	1	3	0,20	1	1	0,76	1	1	0,21
1	2	0,35	1	2	0,22	1	1	0,11	1	3	0,15	1	1	0,68	1	1	0,17
1	2	0,25	1	2	0,21	1	1	0,19	1	2	0,25	1	1	0,46	1	1	0,18
1	2	0,36	1	2	0,43	1	2	0,12	1	2	0,23	1	3	0,68	1	2	0,15
1	3	0,54	1	2	0,32	1	3	0,17	1	3	0,25	1	2	0,71	1	2	0,20
1	2	0,35	1	1	0,37	1	2	0,18	1	2	0,13	1	2	0,70	1	2	0,16
1	3	0,49	1	2	0,44	1	3	0,24	1	3	0,23	1	3	0,54	1	2	0,28
1	2	0,31	1	2	0,45	1	2	0,18	1	3	0,27	1	2	0,74	1	2	0,33
1	3	0,48	1	2	0,36	1	2	0,20	1	3	0,17	1	3	0,83	1	2	0,23

Tabla. XX. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Tercera Parte)

Pistas en cada triada				Sujeto 50				Sujeto 53				Sujeto 56				PROMEDIO			
TRIADA	1	2	3	TRIADA	DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer	
19	5	6	6	1	1	2	0,25	1	3	0,61	1	3	0,47	1,00	2,37	0,39			
20	7	8	7	2	1	3	0,34	1	3	0,47	1	2	0,47	1,00	2,68	0,39			
21	15	15	16	3	1	2	0,15	1	2	0,24	0	0	0,00	0,84	1,37	0,19			
22	23	24	23	4	1	2	0,28	1	3	0,17	1	1	0,61	1,00	1,95	0,28			
23	25	26	26	5	1	2	0,32	1	3	0,68	1	1	0,39	0,95	1,63	0,24			
24	33	33	34	6	1	2	0,24	1	3	0,61	1	2	0,60	1,00	1,79	0,30			
25	41	42	41	7	1	2	0,35	1	3	0,38	1	3	0,77	0,95	1,89	0,29			
26	43	43	44	8	1	3	0,25	1	3	0,61	1	2	0,73	1,00	2,58	0,39			
27	51	52	52	9	1	2	0,19	1	3	0,61	1	2	0,60	0,95	1,89	0,34			
28	59	60	59	10	1	2	0,23	1	3	0,31	1	3	0,53	0,95	1,79	0,32			
29	61	61	62	11	1	1	0,09	1	3	0,24	1	1	0,20	1,00	1,79	0,27			
30	69	70	69	12	1	2	0,31	1	3	0,72	1	2	0,33	1,00	1,68	0,29			
31	77	78	78	13	1	2	0,20	1	3	0,31	1	2	0,47	1,00	2,21	0,31			
32	79	79	80	14	1	2	0,23	1	3	0,44	1	2	0,27	1,00	2,42	0,33			
33	87	88	87	15	1	2	0,26	1	3	0,64	1	1	0,40	0,95	1,63	0,31			
34	95	96	96	16	1	2	0,28	1	3	0,81	1	1	0,27	1,00	2,32	0,38			
35	97	98	98	17	1	3	0,37	1	3	0,77	1	2	0,48	1,00	2,37	0,37			
36	105	105	106	18	1	3	0,42	1	3	0,73	1	3	0,47	1,00	2,47	0,44			

Tabla. XXI. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha (Cuarta Parte)

En la Tabla. XVII, se muestra el resumen de los resultados de diferenciación por cada triada de los oyentes en la sesión 2 con una columna promedio de cada triada en la última columna.

	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	Promedio
TRIADA	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.
1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2,37
2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	2,68
3	1	1	0	2	2	2	2	1	1	2	0	1	1	2	2	2	2	2	0	1,37
4	2	2	3	2	2	2	2	1	1	3	2	2	3	2	1	1	2	3	1	1,95
5	1	2	0	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	3	1	2	2	3	1	1,63
6	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	2	2	2	3	2	1,79
7	2	2	0	1	1	1	2	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	1,89
8	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2	2,58
9	2	2	0	2	2	3	2	1	1	3	2	1	2	3	2	1	2	3	2	1,89
10	2	2	1	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2	3	1	1	2	3	3	1,79
11	1	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	1	1	2	3	1	1,79
12	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	3	2	1,68
13	2	3	2	2	2	2	3	2	1	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2,21
14	2	2	3	2	2	3	3	3	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2	2,42
15	1	1	0	2	1	2	2	1	1	3	2	1	2	2	2	2	2	3	1	1,63
16	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	2	2	3	1	2,32
17	2	2	1	3	2	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2,37
18	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2,47

Tabla. XXII. Resumen de resultados de la diferenciación por cada triada de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 2 del test de escucha

5.4. Resultados sesión 3

En este apartado se van a mostrar las tablas de resultados de los oyentes que realizaron la sesión 3 del test de escucha. En las tablas: Tabla. XXIII, Tabla. XXIV,

Tabla. XXV y Tabla. XXVI se agrupan los resultados de los oyentes que han participado en la sesión 3 del test de escucha. El formato de estas tablas es el mismo que el que ya se ha explicado en el apartado anterior (5.2) para la sesión 1 y la sesión 2.

Pistas en cada triada				Sujeto 3				Sujeto 6				Sujeto 9				Sujeto 12			
TRIADA	1	2	3	TRIADA	DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer		
37	3	4	4	1	1	1	0,31	1	2	0,41		1	3	0,45		1	2	0,60	
38	11	12	11	2	1	2	0,23	1	2	0,28		1	2	0,20		1	2	0,61	
39	13	13	14	3	1	3	0,21	1	1	0,34		1	2	0,16		1	2	0,80	
40	21	22	21	4	1	1	0,19	1	3	0,24		1	1	0,07		1	2	0,73	
41	29	30	30	5	1	2	0,13	1	1	0,27		1	2	0,17		1	3	0,92	
42	31	31	32	6	1	2	0,16	1	2	0,29		1	2	0,17		1	3	0,93	
43	39	40	39	7	1	2	0,23	1	2	0,48		1	1	0,12		1	2	0,87	
44	47	47	48	8	1	3	0,29	1	3	0,22		1	2	0,15		1	2	0,67	
45	49	50	50	9	1	2	0,42	1	1	0,18		1	2	0,17		1	1	0,26	
46	57	58	57	10	1	2	0,38	1	1	0,38		1	2	0,15		1	2	0,47	
47	65	65	66	11	1	3	0,15	1	2	0,27		1	2	0,13		1	2	0,40	
48	67	68	67	12	1	1	0,00	1	1	0,29		1	1	0,18		1	1	0,24	
49	75	76	76	13	1	2	0,36	1	2	0,27		1	2	0,21		1	3	0,60	
50	83	83	84	14	1	2	0,22	1	1	0,26		1	3	0,25		1	2	0,40	
51	85	86	85	15	1	1	0,23	1	1	0,34		1	2	0,19		1	3	0,80	
52	93	94	94	16	1	2	0,31	1	2	0,36		1	2	0,29		1	2	0,53	
53	101	102	102	17	1	3	0,40	1	2	0,28		1	2	0,17		1	2	0,55	
54	103	103	104	18	1	2	0,34	1	2	0,29		1	2	0,21		1	3	0,60	

Tabla. XXIII. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Primera Parte)

Sujeto 15				Sujeto 18				Sujeto 21				Sujeto 24				Sujeto 27				Sujeto 30			
DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer			DIFER.	Prom Difer		
1	1	0,50	0	0	0,00			1	2	0,37		1	1	0,43		1	3	0,53		1	2	0,84	
1	1	0,25	1	2	0,30			1	2	0,32		1	3	0,25		1	3	0,53		1	3	0,80	
1	1	0,37	1	2	0,25			1	2	0,54		1	3	0,40		1	3	0,73		0	0	0,00	
1	1	0,34	0	0	0,00			1	3	0,40		1	1	0,13		1	2	0,60		1	1	0,47	
1	1	0,38	1	2	0,24			1	2	0,18		1	2	0,33		1	2	0,27		1	3	0,60	
1	3	0,53	1	2	0,27			1	3	0,59		1	3	0,53		1	3	0,93		1	3	0,40	
1	2	0,52	1	1	0,33			1	2	0,46		1	2	0,44		1	2	0,53		1	2	0,86	
1	3	0,16	1	2	0,30			1	2	0,33		1	3	0,25		1	2	0,73		1	3	0,60	
1	2	0,38	1	2	0,32			1	2	0,25		1	1	0,32		1	2	0,20		1	2	0,53	
1	3	0,52	0	0	0,00			1	2	0,63		1	1	0,32		1	1	0,47		1	2	0,73	
1	1	0,21	1	1	0,26			1	2	0,42		1	1	0,33		1	1	0,40		1	3	0,40	
0	0	0,00	1	1	0,30			1	2	0,21		1	1	0,13		1	1	0,40		1	2	0,47	
1	1	0,40	1	1	0,27			1	2	0,11		1	1	0,31		1	2	0,47		1	2	0,40	
1	2	0,25	1	2	0,23			1	2	0,07		1	2	0,31		1	1	0,27		1	3	0,53	
1	3	0,50	0	1	0,08			1	2	0,46		1	1	0,30		1	2	0,60		1	3	0,40	
1	2	0,32	1	1	0,22			1	2	0,33		1	2	0,32		1	3	0,60		1	3	0,40	
1	2	0,35	1	2	0,25			1	2	0,34		1	2	0,23		1	2	0,67		1	3	0,33	
1	2	0,50	1	2	0,26			1	2	0,61		1	2	0,37		1	2	0,73		1	3	0,40	

Tabla. XXIV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Segunda Parte)

Sujeto 33			Sujeto 36			Sujeto 39			Sujeto 42			Sujeto 45			Sujeto 48		
DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer	
1	2	0,30	1	2	0,45	1	1	0,21	1	2	0,54	1	2	0,60	1	2	0,21
1	2	0,26	1	3	0,33	1	2	0,19	1	3	0,59	1	2	0,80	1	2	0,19
1	2	0,28	1	2	0,15	1	2	0,27	1	2	0,37	1	2	0,67	1	3	0,39
1	1	0,23	1	3	0,47	1	2	0,22	1	2	0,54	1	2	0,47	1	2	0,11
1	1	0,16	1	3	0,31	1	1	0,26	1	2	0,55	1	2	0,40	1	2	0,26
1	2	0,21	1	3	0,15	1	2	0,17	1	2	0,59	1	2	0,47	1	3	0,25
1	2	0,21	1	2	0,37	1	1	0,22	1	3	0,78	1	2	0,33	1	2	0,20
1	2	0,24	1	3	0,23	1	3	0,24	1	3	0,57	1	2	0,33	1	2	0,24
1	2	0,29	1	2	0,10	1	2	0,22	1	2	0,72	1	2	0,27	1	3	0,29
1	2	0,42	1	3	0,27	1	2	0,23	1	1	0,61	1	2	0,28	1	1	0,16
1	2	0,38	1	2	0,33	1	2	0,26	1	1	0,52	1	3	0,49	1	2	0,19
1	2	0,27	1	2	0,17	1	1	0,26	1	1	0,64	1	2	0,28	1	2	0,24
1	2	0,25	1	2	0,34	1	2	0,18	1	3	0,57	1	2	0,26	1	3	0,28
1	1	0,13	1	3	0,20	1	3	0,25	1	2	0,55	1	2	0,34	1	2	0,22
1	2	0,17	1	2	0,30	1	2	0,28	1	2	0,71	1	2	0,32	1	2	0,18
1	2	0,33	1	2	0,25	1	2	0,27	1	3	0,63	1	2	0,27	1	2	0,31
1	2	0,24	1	3	0,25	1	2	0,21	1	3	0,79	1	2	0,42	1	3	0,35
1	2	0,25	1	2	0,27	1	3	0,20	1	2	0,80	1	2	0,25	1	3	0,35

Tabla. XXV. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Tercera Parte)

Pistas en cada triada			Sujeto 51			Sujeto 54			Sujeto 57			PROMEDIO		
TRIADA	1	2	3	TRIADA	DIFER.	Prom Difer	DIFER.	Prom Difer	DIFER.	Prom Difer	DIFER.	Prom Difer	DIFER.	Prom Difer
37	3	4	4	1	1	1	3	0,51	1	2	0,41	0,95	1,79	0,42
38	11	12	11	2	1	2	2	0,52	1	2	0,33	1,00	2,21	0,38
39	13	13	14	3	1	2	3	0,31	1	2	0,47	0,95	2,05	0,37
40	21	22	21	4	1	2	3	0,39	1	2	0,62	0,95	1,79	0,34
41	29	30	30	5	1	2	2	0,35	1	2	0,40	1,00	1,95	0,34
42	31	31	32	6	1	2	2	0,45	1	3	0,53	1,00	2,47	0,43
43	39	40	39	7	1	2	2	0,60	1	3	0,60	1,00	1,95	0,44
44	47	47	48	8	1	2	2	0,41	1	2	0,47	1,00	2,42	0,35
45	49	50	50	9	1	3	3	0,50	1	2	0,53	1,00	2,00	0,33
46	57	58	57	10	1	2	2	0,61	1	2	0,47	0,95	1,74	0,39
47	65	65	66	11	1	2	1	0,47	1	2	0,33	1,00	1,84	0,33
48	67	68	67	12	1	2	3	0,35	1	2	0,33	0,95	1,47	0,27
49	75	76	76	13	1	2	2	0,52	1	1	0,20	1,00	1,95	0,33
50	83	83	84	14	1	2	1	0,44	1	2	0,27	1,00	2,00	0,29
51	85	86	85	15	1	2	2	0,45	1	1	0,27	0,95	1,89	0,36
52	93	94	94	16	0	2	3	0,83	1	2	0,40	0,95	2,16	0,39
53	101	102	102	17	1	1	3	0,69	1	2	0,47	1,00	2,26	0,38
54	103	103	104	18	1	2	3	0,68	1	3	0,47	1,00	2,32	0,41

Tabla. XXVI. Resumen de resultados de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha (Cuarta Parte)

En la Tabla. XXVII, se muestra el resumen de los resultados de diferenciación por cada triada de los oyentes en la sesión 3 con una columna promedio de cada triada en la última columna.

	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	Promedio
TRIADA	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.	DIFER.
1	1	2	3	2	1	0	2	1	3	2	2	2	1	2	2	2	1	3	2	1,7894737
2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2,2105263
3	3	1	2	2	1	2	2	3	3	0	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2,0526316
4	1	3	1	2	1	0	3	1	2	1	1	3	2	2	2	2	2	3	2	1,7894737
5	2	1	2	3	1	2	2	2	2	3	1	3	1	2	2	2	2	2	2	1,9473684
6	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2,4736842
7	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	3	1,9473684
8	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2,4210526
9	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2
10	2	1	2	2	3	0	2	1	1	2	2	3	2	1	2	1	2	2	2	1,7368421
11	3	2	2	2	1	1	2	1	1	3	2	2	2	1	3	2	2	1	2	1,8421053
12	1	1	1	1	0	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	1,4736842
13	2	2	2	3	1	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	1	1,9473684
14	2	1	3	2	2	2	2	2	1	3	1	3	3	2	2	2	2	1	2	2
15	1	1	2	3	3	1	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,8947368
16	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2,1578947
17	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	1	3	2	2,2631579
18	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	2,3157895

Tabla. XXVII. Resumen de resultados de la diferenciación por cada triada de los oyentes/sujetos que realizaron la sesión 3 del test de escucha

En la Tabla. XXVIII, se muestran a modo de resumen los promedios de los resultados que se han mostrado en las tablas anteriores, de cada sesión del test de escucha con respecto con cada triada y el promedio total de cada sesión.

	Sesión 1			Sesión 2			Sesión 3		
	PROMEDIO			PROMEDIO			PROMEDIO		
TRIADA		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer		DIFER.	Prom Difer
1	1,00	2,35	0,46	1,00	2,37	0,39	0,95	1,79	0,42
2	1,00	2,40	0,31	1,00	2,68	0,39	1,00	2,21	0,38
3	0,80	0,90	0,14	0,84	1,37	0,19	0,95	2,05	0,37
4	0,95	1,80	0,26	1,00	1,95	0,28	0,95	1,79	0,34
5	1,00	2,40	0,34	0,95	1,63	0,24	1,00	1,95	0,34
6	1,00	2,25	0,32	1,00	1,79	0,30	1,00	2,47	0,43
7	1,00	1,85	0,35	0,95	1,89	0,29	1,00	1,95	0,44
8	1,00	2,70	0,34	1,00	2,58	0,39	1,00	2,42	0,35
9	0,95	1,95	0,33	0,95	1,89	0,34	1,00	2,00	0,33
10	0,95	1,60	0,30	0,95	1,79	0,32	0,95	1,74	0,39
11	1,00	2,25	0,35	1,00	1,79	0,27	1,00	1,84	0,33
12	0,95	1,50	0,24	1,00	1,68	0,29	0,95	1,47	0,27
13	1,00	2,20	0,41	1,00	2,21	0,31	1,00	1,95	0,33
14	1,00	1,70	0,25	1,00	2,42	0,33	1,00	2,00	0,29
15	1,00	1,95	0,32	0,95	1,63	0,31	0,95	1,89	0,36
16	1,00	2,50	0,42	1,00	2,32	0,38	0,95	2,16	0,39
17	1,00	2,15	0,37	1,00	2,37	0,37	1,00	2,26	0,38
18	1,00	2,30	0,39	1,00	2,47	0,44	1,00	2,32	0,41
	0,98	2,04	0,33	0,98	2,05	0,32	0,98	2,01	0,36

Tabla. XXVIII. Promedios de los resultados de cada sesión del test de escucha

Con los valores promedio de la Tabla. XXVIII anterior, se ha realizado la gráfica (Figura 32) para ver los resultados de diferencias de cada sesión con respecto cada triada.

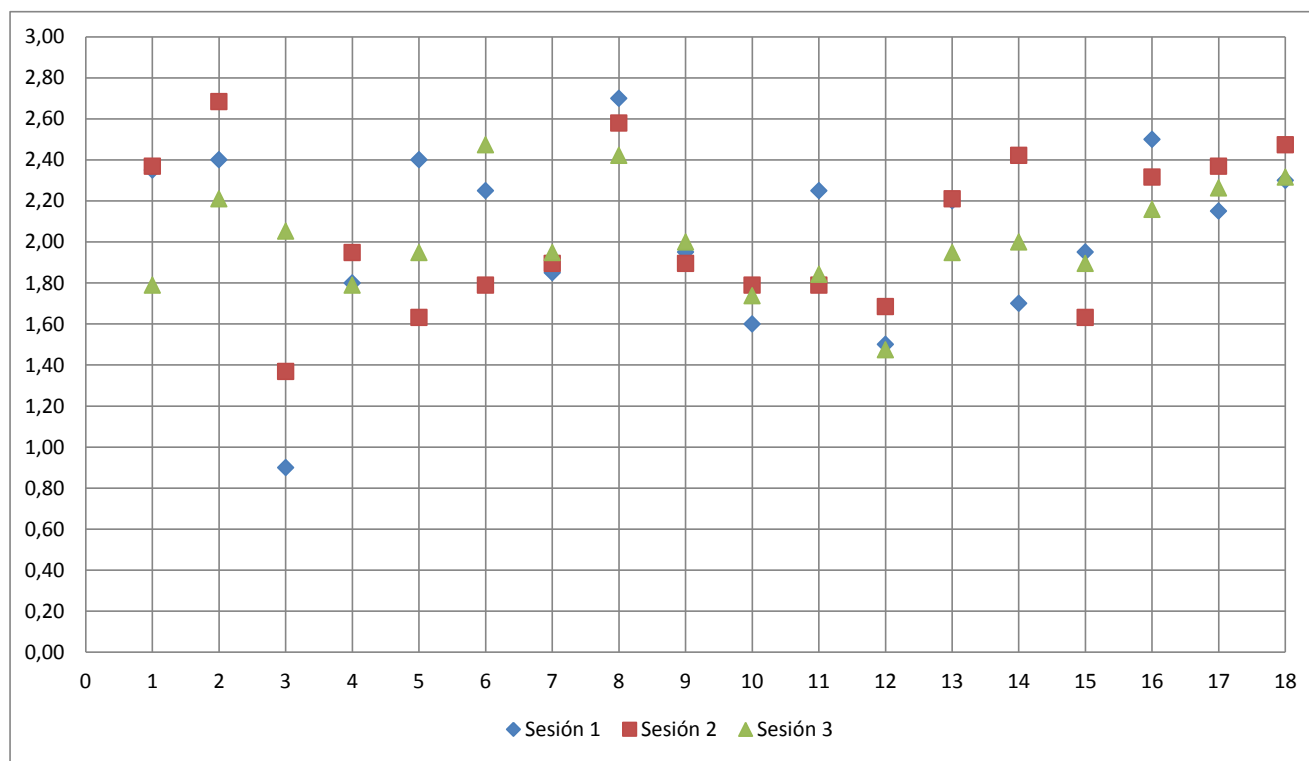


Figura 32. Gráfica con los valores promedio de la diferenciación de cada triada y por cada sesión

5.5. Estudio con el método de Grubbs de los resultados

El método de Grubbs está basado en la distancia entre los valores extremos y la media, expresada en unidades de desviación típica. Se utiliza para detectar y eliminar los resultados de aquellos laboratorios que sean más extremos, y por tanto inconsistentes con la asunción de una distribución normal en los resultados.

Se calcula mediante la determinación de la desviación típica de los resultados globales de todos los participantes, comparando con la desviación típica obtenida una vez eliminado el resultado mayor y el resultado menor, respectivamente.

Se confirma que se trata de un resultado discrepante estimando la mayor disminución en el porcentaje de la desviación típica en los dos casos citados, comparando con el valor crítico indicado en las tablas estadísticas correspondientes, que depende del número de participantes y del nivel de significación deseado. Para ello, se calculan G_{pmax} y G_{pmin} que son los estadísticos G de Grubbs de los resultados máximo y mínimo de los test de escucha en cada sesión.[68]

Para realizar el estudio de los resultados y, estadísticamente, comprobar que no hay resultados aberrantes, se va a llevar a cabo el método de Grubbs con los resultados de la primera y segunda sección del test de escucha. Los resultados de este método son las tablas: Tabla. XXIX, Tabla. XXX, Tabla. XXXI, Tabla. XXXII, Tabla. XXXIII, Tabla. XXXIV y Tabla. XXXV. Los valores que se pueden considerar aberrantes están coloreados en rojo.

	Triadas																	
oyente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	2	0	1	2	2	1	3	3	1	2	1	3	2	1	2	1	2
2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2
3	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2
4	3	3	1	3	3	2	2	2	2	2	1	0	2	1	2	3	1	2
5	2	3	0	0	2	2	2	3	1	0	3	1	1	1	1	1	2	1
6	3	2	1	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	3	1
7	2	2	1	1	2	3	2	3	2	2	1	3	3	1	2	3	1	3
8	2	1	0	1	2	2	2	3	0	2	3	1	2	2	2	3	3	2
9	2	2	1	2	2	2	2	3	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2
10	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2
11	3	3	1	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3
12	3	2	1	2	3	3	2	3	2	1	3	2	3	1	2	3	2	3
13	2	3	1	2	3	2	2	3	1	2	2	1	3	1	2	3	2	3
14	2	3	0	1	2	1	1	3	1	1	2	1	2	2	1	3	2	1
15	2	2	1	1	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	2	3	3	2
16	2	3	1	3	3	3	2	3	2	1	3	2	2	2	1	2	3	3
17	2	2	1	2	3	2	1	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	3
18	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	3	2	2	3	3	3
19	3	3	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	2	3
20	3	3	1	3	3	3	2	3	3	2	3	2	3	2	2	3	3	3
	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}	G _{pmax}
	1,33	1,00	1,99	1,44	1,00	1,17	2,35	0,64	1,18	2,06	1,05	2,11	1,15	1,98	1,74	0,73	1,14	0,96
	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}	G _{pmin}
	0,72	2,34	1,63	2,16	2,34	1,96	1,74	1,49	2,20	2,35	1,74	2,26	1,72	1,07	1,57	2,18	1,54	1,77

Tabla. XXIX. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la primera sección del test de escucha de la primera sesión

La Tabla. XXIX no ha dado ningún resultado aberrante, ya que todos los valores de G son menores que los que aparecen en la Tabla. XXXV como límites para que se puedan considerar o no aberrantes. Este método se le ha aplicado a los resultados de la sesión 1 en la parte de diferenciación de la primera sección de la evaluación subjetiva.

En cambio, en la segunda parte de la sesión 1 dan resultados aberrantes en las triadas 5, 7 y 9. Se puede ver que los valores aberrantes aparecen marcados en rojo de la Tabla. XXX. Dependerá de si posteriormente se van a usar los resultados de esta parte para considerarse aberrantes los resultados que no cumplen con este método.

oyente	Triadas																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,40	0,12	0,00	0,06	0,16	0,17	0,20	0,10	0,05	0,02	0,13	0,14	0,36	0,07	0,08	0,21	0,16	0,21
2	0,35	0,34	0,18	0,25	0,28	0,29	0,29	0,25	0,17	0,30	0,27	0,15	0,32	0,15	0,23	0,23	0,28	0,28
3	0,51	0,34	0,18	0,28	0,27	0,20	0,31	0,07	0,28	0,14	0,21	0,17	0,28	0,21	0,21	0,25	0,38	0,25
4	0,40	0,27	0,21	0,29	0,43	0,35	0,39	0,34	0,40	0,28	0,35	0,00	0,31	0,31	0,27	0,23	0,34	0,31
5	0,33	0,33	0,00	0,00	0,40	0,40	0,33	0,33	0,40	0,00	0,40	0,27	0,20	0,20	0,20	0,33	0,40	0,27
6	0,65	0,47	0,19	0,53	0,33	0,48	0,67	0,53	0,53	0,80	0,60	0,53	0,73	0,27	0,53	0,67	0,40	0,47
7	0,42	0,30	0,07	0,21	0,29	0,38	0,24	0,38	0,31	0,33	0,25	0,35	0,47	0,20	0,35	0,57	0,26	0,55
8	0,47	0,30	0,00	0,19	0,31	0,22	0,27	0,27	0,00	0,34	0,50	0,47	0,27	0,46	0,56	0,49	0,39	0,40
9	0,50	0,23	0,20	0,10	0,27	0,07	0,40	0,40	0,22	0,19	0,19	0,13	0,16	0,08	0,20	0,24	0,13	0,29
10	0,62	0,32	0,41	0,36	0,37	0,36	0,32	0,32	0,35	0,31	0,34	0,24	0,32	0,32	0,33	0,30	0,37	0,26
11	0,44	0,23	0,03	0,17	0,30	0,60	0,33	0,27	1,00	0,27	0,50	0,27	0,67	0,33	0,67	0,73	0,53	0,93
12	0,60	0,44	0,44	0,54	0,46	0,58	0,56	0,51	0,47	0,44	0,62	0,29	0,58	0,34	0,55	0,54	0,63	0,39
13	0,36	0,16	0,13	0,30	0,33	0,27	0,35	0,20	0,17	0,33	0,17	0,20	0,50	0,17	0,27	0,41	0,27	0,30
14	0,40	0,23	0,00	0,22	0,32	0,16	0,22	0,42	0,13	0,22	0,31	0,15	0,27	0,21	0,16	0,37	0,28	0,29
15	0,72	0,56	0,09	0,69	0,76	0,76	0,84	0,73	0,84	0,71	0,79	0,40	0,76	0,59	0,74	0,84	0,80	0,82
16	0,27	0,21	0,13	0,23	0,35	0,10	0,17	0,30	0,12	0,07	0,17	0,17	0,40	0,25	0,10	0,16	0,17	0,18
17	0,25	0,26	0,03	0,22	0,30	0,26	0,12	0,35	0,21	0,09	0,24	0,27	0,29	0,25	0,23	0,29	0,25	0,32
18	0,46	0,46	0,33	0,19	0,39	0,30	0,36	0,20	0,31	0,40	0,21	0,26	0,67	0,30	0,26	0,51	0,35	0,41
19	0,64	0,17	0,08	0,18	0,14	0,11	0,34	0,26	0,27	0,32	0,21	0,11	0,31	0,07	0,21	0,25	0,19	0,27
20	0,46	0,45	0,06	0,24	0,38	0,30	0,27	0,62	0,36	0,36	0,47	0,32	0,32	0,23	0,23	0,68	0,77	0,64
	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax
	2,01	2,12	2,26	2,58	3,32	2,46	2,90	2,38	2,74	2,51	2,45	2,25	1,92	2,67	2,23	2,11	2,30	2,69
	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin
	1,62	1,62	1,04	1,60	1,63	1,40	1,35	1,66	1,34	1,47	1,18	1,91	1,37	1,45	1,28	1,26	1,28	1,05

Tabla. XXX. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la segunda sección del test de escucha de la primera sesión

La Tabla. XXXI, que muestra el método de Grubbs aplicado a los resultados de la sesión 2 en la diferenciación de la primera parte del test de escucha, no ha dado ningún resultado aberrante ya que todos los valores de G son menores que los que aparecen en la Tabla. XXXV como límites para que se puedan considerar o no aberrantes.

En cambio, en la sección 2 de la sesión 2 dan resultados aberrantes en las triadas 7, 12 y 14. Estos valores aparecen marcados en rojo de la Tabla. XXXII. Como ya se comentó antes, hay que valorar si los resultados de esta tabla se van a utilizar para la evaluación subjetiva. Si es así habrá que tener en cuenta los resultados que son aberrantes.

	Triadas																	
oyente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3	3	1	2	1	1	2	3	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2
2	2	3	1	2	2	2	2	3	2	2	1	1	3	2	1	2	2	2
3	2	2	0	3	0	2	0	2	0	1	3	2	2	3	0	2	1	3
4	2	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2
5	2	3	2	2	2	1	1	3	2	0	1	2	2	2	1	2	2	2
6	2	3	2	2	2	1	1	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	3
7	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2
8	2	3	1	1	1	1	1	3	1	1	2	1	2	3	1	2	3	2
9	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
10	3	3	2	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3
11	3	2	0	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3
12	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2
13	2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	1	1	2	3	2	3	2	2
14	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3
15	3	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	3	2	2	3	2	3
16	2	3	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
17	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3
18	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
19	3	2	0	1	1	2	3	2	2	3	1	2	2	2	1	1	2	3
	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax
	1,27	0,66	0,83	1,49	2,00	1,92	1,37	0,83	1,37	1,54	1,42	2,26	1,47	0,95	1,80	1,17	1,06	1,03
	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin
	0,74	1,43	1,80	1,34	2,39	1,25	2,34	1,14	2,34	2,27	0,92	1,17	2,26	2,34	2,14	2,26	2,29	0,92

Tabla. XXXI. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la primera sección del test de escucha de la segunda sesión

	Triadas																	
oyente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,45	0,67	0,18	0,21	0,17	0,20	0,17	0,49	0,06	0,17	0,18	0,13	0,31	0,27	0,06	0,45	0,42	0,34
2	0,23	0,27	0,00	0,09	0,18	0,20	0,21	0,25	0,21	0,13	0,09	0,13	0,26	0,20	0,13	0,24	0,18	0,40
3	0,29	0,29	0,00	0,25	0,00	0,26	0,00	0,29	0,00	0,33	0,42	0,24	0,23	0,28	0,00	0,26	0,29	0,27
4	0,32	0,52	0,28	0,30	0,21	0,41	0,36	0,43	0,40	0,72	0,42	0,56	0,30	0,39	0,41	0,32	0,25	0,36
5	0,34	0,65	0,25	0,31	0,14	0,24	0,22	0,33	0,28	0,00	0,21	0,33	0,36	0,39	0,25	0,31	0,44	0,48
6	0,41	0,40	0,27	0,31	0,28	0,20	0,19	0,36	0,37	0,40	0,47	0,27	0,32	0,42	0,33	0,30	0,37	0,60
7	0,26	0,13	0,26	0,08	0,10	0,30	0,21	0,27	0,27	0,24	0,35	0,26	0,32	0,24	0,26	0,33	0,34	0,32
8	0,40	0,44	0,17	0,13	0,27	0,19	0,32	0,51	0,57	0,34	0,28	0,20	0,28	0,34	0,47	0,45	0,27	0,68
9	0,33	0,16	0,09	0,20	0,03	0,14	0,11	0,12	0,19	0,06	0,09	0,08	0,09	0,12	0,10	0,24	0,13	0,24
10	0,54	0,43	0,27	0,67	0,20	0,47	0,40	0,43	0,73	0,47	0,40	0,44	0,47	0,40	0,60	0,73	0,40	0,80
11	0,66	0,50	0,00	0,48	0,39	0,45	0,51	0,69	0,63	0,48	0,35	0,25	0,36	0,54	0,35	0,49	0,31	0,48
12	0,28	0,21	0,21	0,31	0,30	0,21	0,33	0,36	0,27	0,31	0,22	0,21	0,43	0,32	0,37	0,44	0,45	0,36
13	0,32	0,31	0,33	0,08	0,18	0,12	0,17	0,10	0,14	0,24	0,11	0,19	0,12	0,17	0,18	0,24	0,18	0,20
14	0,37	0,27	0,11	0,33	0,00	0,17	0,12	0,30	0,17	0,20	0,15	0,25	0,23	0,25	0,13	0,23	0,27	0,17
15	0,63	0,67	0,50	0,37	0,62	0,56	0,45	0,72	0,74	0,76	0,68	0,46	0,68	0,71	0,70	0,54	0,74	0,83
16	0,24	0,25	0,25	0,13	0,18	0,17	0,23	0,24	0,10	0,21	0,17	0,18	0,15	0,20	0,16	0,28	0,33	0,23
17	0,25	0,34	0,15	0,28	0,32	0,24	0,35	0,25	0,19	0,23	0,09	0,31	0,20	0,23	0,26	0,28	0,37	0,42
18	0,61	0,47	0,24	0,17	0,68	0,61	0,38	0,61	0,61	0,31	0,24	0,72	0,31	0,44	0,64	0,81	0,77	0,73
19	0,47	0,47	0,00	0,61	0,39	0,60	0,77	0,73	0,60	0,53	0,20	0,33	0,47	0,27	0,40	0,27	0,48	0,47
	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax
	1,99	1,68	2,36	2,34	2,37	1,91	2,76	1,80	1,67	2,17	2,59	2,68	2,66	2,75	1,97	2,55	2,44	1,91
	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin
	1,18	1,60	1,42	1,17	1,33	1,11	1,67	1,55	1,46	1,60	1,16	1,33	1,58	1,46	1,54	0,87	1,42	1,36

Tabla. XXXII. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la segunda sección del test de escucha de la segunda sesión

La Tabla. XXXIII, en la que se ha aplicado el método de Grubbs a los resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha de la sesión 3, no ha dado ningún resultado aberrante ya que todos los valores de G son menores

que los que aparecen en la Tabla. XXXV como límites para que se puedan considerar o no aberrantes.

En cambio, en la sección 2 de la sesión 3 dan resultados aberrantes en las triadas 5 y 16. Se puede ver que estos valores aparecen marcados en rojo de la Tabla. XXXIV.

No se van a tener en cuenta los resultados de esta parte (segunda sección del test de escucha) para realizar la evaluación subjetiva, ya que tras analizarlos, no se van a poder valorar bien las diferencias con respecto a un determinado parámetro ya que no coinciden los valores de diferenciación subjetivas con los objetivos. Se ha comparado las auralizaciones con mayores diferencias en tiempo de reverberación, y no son las que los oyentes han valorado como las que tienen una mayor diferencia con respecto la reverberación. Al ser un aspecto tan subjetivo de como cada uno perciba la reverberación y lo que entienda por su significado, no se va a entrar a valorar los resultados de diferenciación con respecto los tres parámetros acústicos. solo se va a evaluar la diferenciación general entre las pistas auralizadas, que al ser general es más reconocible por lo oyentes.

oyente	Triadas																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	2	3	1	2	2	2	3	2	2	3	1	2	2	1	2	3	2
2	2	2	1	3	1	2	2	3	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2
3	3	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	2
4	2	2	2	2	3	3	2	2	1	2	2	1	3	2	3	2	2	3
5	1	1	1	1	1	3	2	3	2	3	1	0	1	2	3	2	2	2
6	0	2	2	0	2	2	1	2	2	0	1	1	1	2	1	1	2	2
7	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	1	3	3	1	2	3	2	3	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
9	3	3	3	2	2	3	2	2	2	1	1	1	2	1	2	3	2	2
10	2	3	0	1	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3
11	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
12	2	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2
13	1	2	2	2	1	2	1	3	2	2	2	1	2	3	2	2	2	3
14	2	3	2	2	2	2	3	3	2	1	1	1	3	2	2	3	3	2
15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
16	2	2	3	2	2	3	2	2	3	1	2	2	3	2	2	2	3	3
17	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2
18	3	2	3	3	2	2	2	2	3	2	1	3	2	1	2	3	3	3
19	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	3
	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax
	1,54	1,47	1,21	1,42	1,69	1,03	2,01	1,14	1,73	1,72	1,68	2,19	1,69	1,50	1,68	1,68	1,31	1,43
	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin
	2,27	2,26	2,63	2,09	1,52	0,92	1,81	0,83	1,73	2,37	1,22	2,12	1,52	1,50	1,36	2,31	2,25	0,66

Tabla. XXXIII. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la primera sección del test de escucha de la tercera sesión

	Triadas																	
oyente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,31	0,23	0,21	0,19	0,13	0,16	0,23	0,29	0,42	0,38	0,15	0,00	0,36	0,22	0,23	0,31	0,40	0,34
2	0,41	0,28	0,34	0,24	0,27	0,29	0,48	0,22	0,18	0,38	0,27	0,29	0,27	0,26	0,34	0,36	0,28	0,29
3	0,45	0,20	0,16	0,07	0,17	0,17	0,12	0,15	0,17	0,15	0,13	0,18	0,21	0,25	0,19	0,29	0,17	0,21
4	0,60	0,61	0,80	0,73	0,92	0,93	0,87	0,67	0,26	0,47	0,40	0,24	0,60	0,40	0,80	0,53	0,55	0,60
5	0,50	0,25	0,37	0,34	0,38	0,53	0,52	0,16	0,38	0,52	0,21	0,00	0,40	0,25	0,50	0,32	0,35	0,50
6	0,00	0,30	0,25	0,00	0,24	0,27	0,33	0,30	0,32	0,00	0,26	0,30	0,27	0,23	0,08	0,22	0,25	0,26
7	0,37	0,32	0,54	0,40	0,18	0,59	0,46	0,33	0,25	0,63	0,42	0,21	0,11	0,07	0,46	0,33	0,34	0,61
8	0,43	0,25	0,40	0,13	0,33	0,53	0,44	0,25	0,32	0,32	0,33	0,13	0,31	0,31	0,30	0,32	0,23	0,37
9	0,53	0,53	0,73	0,60	0,27	0,93	0,53	0,73	0,20	0,47	0,40	0,40	0,47	0,27	0,60	0,60	0,67	0,73
10	0,84	0,80	0,00	0,47	0,60	0,40	0,86	0,60	0,53	0,73	0,40	0,47	0,40	0,53	0,40	0,40	0,33	0,40
11	0,30	0,26	0,28	0,23	0,16	0,21	0,21	0,24	0,29	0,42	0,38	0,27	0,25	0,13	0,17	0,33	0,24	0,25
12	0,45	0,33	0,15	0,47	0,31	0,15	0,37	0,23	0,10	0,27	0,33	0,17	0,34	0,20	0,30	0,25	0,25	0,27
13	0,21	0,19	0,27	0,22	0,26	0,17	0,22	0,24	0,22	0,23	0,26	0,26	0,18	0,25	0,28	0,27	0,21	0,20
14	0,54	0,59	0,37	0,54	0,55	0,59	0,78	0,57	0,72	0,61	0,52	0,64	0,57	0,55	0,71	0,63	0,79	0,80
15	0,60	0,80	0,67	0,47	0,40	0,47	0,33	0,33	0,27	0,28	0,49	0,28	0,26	0,34	0,32	0,27	0,42	0,25
16	0,21	0,19	0,39	0,11	0,26	0,25	0,20	0,24	0,29	0,16	0,19	0,24	0,28	0,22	0,18	0,31	0,35	0,35
17	0,25	0,23	0,37	0,18	0,28	0,46	0,24	0,26	0,29	0,24	0,39	0,28	0,33	0,30	0,28	0,37	0,14	0,29
18	0,51	0,52	0,31	0,39	0,35	0,45	0,60	0,41	0,50	0,61	0,47	0,35	0,52	0,44	0,45	0,83	0,69	0,68
19	0,41	0,33	0,47	0,62	0,40	0,53	0,60	0,47	0,53	0,47	0,33	0,33	0,20	0,27	0,27	0,40	0,47	0,47
	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax	Gpmax
	2,29	2,10	2,11	1,93	3,09	2,15	1,88	2,20	2,52	1,83	1,66	2,54	2,01	2,13	2,34	2,84	2,25	2,04
	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin	Gpmin
	2,27	0,97	1,85	1,64	1,15	1,16	1,43	1,15	1,50	2,03	1,79	1,80	1,68	1,76	1,49	1,09	1,30	1,14

Tabla. XXXIV. Método de Grubbs aplicado a los resultados de los oyentes de la segunda sección del test de escucha de la tercera sesión

	1%	5%
20	3,001	2,709
19	2,968	2,681
18	2,932	2,651
17	2,894	2,62

Tabla. XXXV. Valores límite para que se considere un resultado aberrante por el método de Grubbs

5.6. Aciertos/fallos en el test de escucha

Habiéndose mostrado los resultados de los test de escucha de cada oyente y de haberles aplicado el método de Grubbs para obtener si hay resultados aberrantes en los apartados anteriores, a partir de éste se van evaluar y analizar dichos resultados para poder elaborar las correspondientes conclusiones.

[illegible]

Tabla. XXXVI. Aciertos/fallos en las triadas de todos los oyentes que han realizado el test de escucha

En la Tabla. XXXVI se muestran los aciertos/fallos de todos los oyentes participantes en el test de escucha en cada una de las 18 triadas que evaluaron. Ha habido 13 de los 58 oyentes que han tenido al menos un fallo, y 45 oyentes que han acertado todas las triadas. En total, la evaluación subjetiva recoge 23 triadas falladas de las 1024 totales que se evaluaban (2,24%), con un promedio de 0,4 triadas falladas por oyente.

Por consiguiente la evaluación subjetiva, en términos de aciertos/fallos, en general ha sido satisfactoria, habiendo menos de un error por cada dos oyentes.

A continuación, se va a analizar más detenidamente estos resultados separándolos con respecto a las tres sesiones y a los tres audios.

TRIADA	SUJETOS - TEST 1																							
	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58				
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
3	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	4			
4	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
10	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
12	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	PROM		
Nº fallos	1	0	0	1	3	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8		0,40	

Tabla. XXXVII. Aciertos/fallos en las triadas de los oyentes que han realizado la sesión 1 del test de escucha

La Tabla. XXXVII identifica los aciertos/fallos de los oyentes en las triadas evaluadas de la sesión 1 del test de escucha. 5 de los 20 oyentes que han realizado la sesión 1 han tenido algún fallo, siendo el sujeto número 13 el que más fallos comete con 3. En total, la evaluación subjetiva en esta sesión recoge 8 triadas falladas de las 360 triadas totales evaluadas (2,22%), con un promedio de 0,4 triadas falladas por oyente.

Si se analizan los fallos con respecto a las triadas, se puede observar cómo la triada 3 tiene cuatro fallos, siendo esta triada la más difícil de diferenciar para los oyentes. Hay otras cuatro triadas en las que un oyente ha fallado. Todos estos fallos no son debido a que los oyentes se hayan confundido a la hora de evaluar qué pistas auralizadas son iguales, sino que no apreciaban diferencias entre los tres audios de la triada y contestaban que las tres eran iguales.

	SUJETOS - TEST 2																						
TRIADA	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56				
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
3	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	3			
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
5	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
7	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
9	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
10	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
15	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	PROM		
Nº fallos	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8		0,42	

Tabla. XXXVIII. Aciertos/fallos en las triadas de los oyentes que han realizado la sesión 2 del test de escucha

La Tabla. XXXVIII identifica los aciertos/fallos en las triadas evaluadas de los oyentes de la sesión 2 del test de escucha. Han cometido fallo 4 de los 19 oyentes que han realizado la sesión 2, siendo el sujeto número 8 el que más fallos comete con 5. En total, la evaluación subjetiva en esta sesión recoge 8 triadas falladas de las 342 evaluadas (2,34%), con un promedio de 0,42 triadas falladas por oyente.

Si se analizan los fallos con respecto a las triadas, se puede observar cómo la triada 3 tiene tres fallos, siendo esta triada la más difícil de diferenciar por los oyentes. Además, hay otras cinco triadas en las que un oyente ha fallado. Todos estos fallos no son debidos a que los oyentes se hayan confundido evaluando qué pistas auralizadas son iguales, sino que no percibían diferencias entre los tres audios de la triada y contestaban que las tres eran iguales.

SUJETOS - TEST 3																				
TRIADA	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	
1	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
3	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1
4	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
10	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
12	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
15	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	1
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0
PROM																				
Nº fallos	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7
0,37																				

Tabla. XXXIX. Aciertos/fallos en las triadas de los oyentes que han realizado la sesión 3 del test de escucha

La Tabla. XXXIX muestra los aciertos/fallos en las triadas evaluadas de los oyentes de la sesión 3 del test de escucha. Han cometido algún error en la diferenciación 4 de los 19 oyentes que han realizado la sesión 3, siendo el sujeto número 18 el que más fallos comete con 4. En total, la evaluación subjetiva en esta sesión recoge 7 triadas falladas de las 342 evaluadas (2,05%), con un promedio de 0,37 triadas falladas por oyente.

Al observar en la tabla los fallos con respecto a las triadas, se puede indicar que hay otras siete triadas en las que un oyente ha fallado, sin que en ninguna se repita el fallo por otro oyente.

Como ya se ha comentado antes, en las otras dos sesiones, todos estos fallos son debido a que los oyentes no han percibido diferencias entre los tres audios de la triada y contestaban que las tres eran iguales.

No se van a considerar estos fallos de los oyentes de las tres sesiones como tal, ni se discriminará al sujeto 8 a pesar de los 5 fallos de diferenciación cometidos.

Iglesia	T30	Punto	AUDIO 1																											
SC	2,84	SCF1M2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SC	2,84	SCF1M8	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			1	
SC	2,84	SCF1M11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SI	6,34	SIF1P1	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SI	6,34	SIF1P12	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			2	
SI	6,34	SIF1P18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SJ	1,32	SJF1M7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SJ	1,32	SJF1M14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			1	
SJ	1,32	SJF1M15	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SL	0,845	SLF1M1	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SL	0,845	SLF1M4	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			3	
SL	0,845	SLF1M7	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SM	2,05	SMF0M3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SM	2,05	SMF0M4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SM	2,05	SMF0M5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SP	1,17	SPF1M3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SP	1,17	SPF1M5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	1			1	
SP	1,17	SPF1M6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	PROM			
																										8	0,44			

Tabla. XL. Aciertos/fallos por cada punto de cada Iglesia con el Audio 1 (voz hablada) del test de escucha

Con respecto al análisis de los aciertos/fallos en la diferenciación de las triadas en relación a los audios, se representan la Tabla. XL, la Tabla. XLI y la Tabla. XLII.

La Tabla. XL muestra los aciertos/fallos en los puntos de los recintos evaluados por los oyentes con el audio 1 (voz hablada) del test de escucha. Ha habido problemas en la diferenciación de las triadas de 8 puntos distintos. No se repite ningún fallo en ningún punto, pero sí en algún recinto, siendo la Iglesia de Santa Lucía del Trampal el que más errores ha registrado con este audio (3 fallos, uno en cada punto). En total, la evaluación subjetiva con este audio recoge 8 triadas falladas de las 348 evaluadas (2,3%), con un promedio de 0,44 triadas falladas por cada punto.

La siguiente tabla a analizar es la Tabla. XLI, donde se representan los aciertos/fallos en los puntos de los recintos evaluados por los oyentes con el audio 2 (palmas) del test de escucha. Con este audio, sólo ha habido un error entre todas las triadas, en el primer punto de Santo Domingo de Silos. Con este audio se deduce que se aprecian las diferencias entre las pistas auralizadas mejor que con los otros dos audios. En total, la evaluación subjetiva con este audio ha tenido 1 triada fallada de las 348 triadas evaluadas (0%), con un promedio de 0,06 triadas falladas por cada punto. Hay un porcentaje casi del 100 % de aciertos con este audio.

Iglesia	T30	Punto	AUDIO 2																							
SC	2,84	SCF1M2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SC	2,84	SCF1M8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SC	2,84	SCF1M11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SI	6,34	SIF1P1	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SI	6,34	SIF1P12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			1	
SI	6,34	SIF1P18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SJ	1,32	SJF1M7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SJ	1,32	SJF1M14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SJ	1,32	SJF1M15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SL	0,845	SLF1M1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SL	0,845	SLF1M4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SL	0,845	SLF1M7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SM	2,05	SMF0M3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SM	2,05	SMF0M4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SM	2,05	SMF0M5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SP	1,17	SPF1M3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SP	1,17	SPF1M5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SP	1,17	SPF1M6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	PROM			
																						1		0,06		

Tabla. XLI. Aciertos/fallos por cada punto de cada Iglesia con el Audio 2 (palmadas) del test de escucha

Iglesia	T30	Punto	AUDIO 3																							
SC	2,84	SCF1M2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SC	2,84	SCF1M8	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	3			8	
SC	2,84	SCF1M11	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	4				
SI	6,34	SIF1P1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SI	6,34	SIF1P12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SI	6,34	SIF1P18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SJ	1,32	SJF1M7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SJ	1,32	SJF1M14	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			2	
SJ	1,32	SJF1M15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SL	0,845	SLF1M1	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SL	0,845	SLF1M4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			2	
SL	0,845	SLF1M7	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SM	2,05	SMF0M3	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1				
SM	2,05	SMF0M4	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1			2	
SM	2,05	SMF0M5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SP	1,17	SPF1M3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0				
SP	1,17	SPF1M5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0			0	
SP	1,17	SPF1M6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	PROM			
																						14		0,78		

Tabla. XLII. Aciertos/fallos por cada punto de cada Iglesia con el Audio 3 (música) del test de escucha

La Tabla. XLII representa los aciertos/fallos en los puntos de los recintos evaluados por los oyentes con el audio 3 (música clásica) del test de escucha. Ha habido fallos en la diferenciación de las pistas auralizadas de las triadas de 9 puntos

distintos, repitiéndose los errores en el segundo y tercer punto de la Iglesia de San Cebrián de Mazote 3 y 4 veces respectivamente. En esta Iglesia es donde se han tenido mayores problemas para diferenciar entre las pistas auralizadas, repitiéndose en 8 ocasiones que el oyente no supiera diferenciar entre las tres pistas de la triada. En total, la evaluación subjetiva con este audio ha tenido 14 triadas falladas de las 348 evaluadas (4%), con un promedio de 0,78 triadas falladas por cada punto.

Con el audio 3 (música) se deduce que se aprecian las diferencias entre las pistas auralizadas peor que con los otros dos audios, siendo bastante superior el número de fallos o no diferenciaciones de auralizaciones.

Como ya se comentó antes, estos fallos son debidos a la no percepción de diferencias entre las pistas auralizadas de las triadas, pero no por considerarse diferentes dos pistas que no lo son.

5.7. Análisis estadístico de los resultados

En este apartado se van a analizar los resultados de las diferencias evaluadas por los oyentes en el test de escucha. Las diferencias entre las pistas auralizadas de cada triada fueron evaluados como: nada, poca, moderada y mucha. A estos items se les ha asignado el valor 0, 1, 2 y 3 respectivamente.

En la Tabla. XLIII se muestran estos valores de diferencias de todos los sujetos en cada triada del test de escucha. En la última fila de cada columna, aparece el promedio de las diferencias evaluadas por cada oyente. El promedio de los oyentes en la diferenciación es variable, siendo diferentes entre unos sujetos u otros. Al ser una evaluación subjetiva depende de cómo cada individuo perciba cuál es la diferencia entre las pistas auralizadas de cada triada.

El oyente con menor promedio de diferenciación es el sujeto 18 con un valor de 1,3 (cercano a la cifra asignada a poca). Por el contrario, el de mayor promedio es el sujeto 53 con un valor promedio de 2,9 (cercano a la cifra asignada a mucha). La diferencia entre ambos es elevada pero no se puede considerar crítica. El promedio de todos los oyentes es de 2,04 (cercano a la cifra asignada a moderada), que está entre los dos valores anteriores.

Tabla. XLIII. Resultados de la diferenciación de la sección 1 del test de escucha

Ítem	Punto	Media	Desviación	Moda
SC	SCFIM2	2	0,64	2
SC	SCFIM8	1	0,83	2
SC	SCFIM11	3	0,85	2
SI	SIFIP1	1	0,77	2
SI	SIFIP12	1	0,75	2
SI	SIFIP18	2	0,66	2
SI	SIFIM4	1	0,61	2
SI	SIFIM7	2	0,71	2
SI	SIFIM15	2	0,78	2
SL	SFIM1	1	0,75	1
SL	SFIM4	2	0,72	2
SL	SFIM7	2	0,72	2
SM	SMEDM3	3	0,68	2
SM	SMEDM4	2	0,68	2
SM	SMEDM5	2	0,60	2
SP	SFIM3	2	0,59	2
SP	SFIM5	2	0,61	2
SP	SFIM6	2	0,62	2
		2,04	0,70	1,94

Tabla. XLIV. Resultados de la diferenciación de la sección 1 del test de escucha por cada punto, con el promedio, desviación típica y moda de éstos.

En la Tabla. XLIV, como en la tabla anterior, se muestran los valores de diferenciación del test de escucha, pero en este caso con respecto a cada punto donde se generaron las respuestas impulsivas y correspondientes auralizaciones. En esta tabla, además se obtiene el promedio, la desviación típica, la moda y el rango de la diferenciación de cada uno de estos puntos. Para ver mejor estos datos, se ha representado el resumen de éstos en la Tabla. XLV. Además en esta tabla se han añadido la media, desviación típica, moda y rango de los recintos, además de estos valores por cada punto.

Iglesia	T30	Punto	Codigo aural.	Media	Desv típica	Moda	Media	Desv típica	Moda
SC	2,84	SCF1M2	X-1-M, X-1-S	2,36	0,64	2	2,01	0,77	2
SC	2,84	SCF1M8	X-3-M, X-3-S	1,86	0,83	2			
SC	2,84	SCF1M11	X-5-M, X-5-S	1,81	0,85	2			
SI	6,34	SIF1P1	X-1-M, X-1-S	1,97	0,77	2	2,01	0,73	2
SI	6,34	SIF1P12	X-2-M, X-2-S	2,00	0,75	2			
SI	6,34	SIF1P18	X-3-M, X-3-S	2,05	0,66	2			
SJ	1,32	SJF1M7	X-6-M, X-6-S	2,14	0,61	2	2,14	0,70	2
SJ	1,32	SJF1M14	X-13-M, X-13-S	2,19	0,71	2			
SJ	1,32	SJF1M15	X-14-M, X-14-S	2,09	0,78	2			
SL	0,845	SLF1M1	X-1-M, X-1-S	1,62	0,75	1	1,75	0,73	2
SL	0,845	SLF1M4	X-3-M, X-3-S	1,90	0,72	2			
SL	0,845	SLF1M7	X-6-M, X-6-S	1,72	0,72	2			
SM	2,05	SMF0M3	X-3-M, X-3-S	2,17	0,68	2	1,99	0,66	2
SM	2,05	SMF0M4	X-4-M, X-4-S	1,76	0,68	2			
SM	2,05	SMF0M5	X-5-M, X-5-S	2,05	0,60	2			
SP	1,17	SPF1M3	X-2-M, X-2-S	2,40	0,59	2	2,32	0,61	2
SP	1,17	SPF1M5	X-4-M, X-4-S	2,26	0,61	2			
SP	1,17	SPF1M6	X-5-M, X-5-S	2,29	0,62	2			
				2,04	0,70	1,94	2,04	0,70	2

Tabla. XLV. Resultados de la media, desviación típica y moda de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto y por recinto.

Con respecto a la media, los puntos con promedio menor son el primer (SLF1M1) y tercer punto (SLF1M7) de Santa Lucía del Trampal (1,62 y 1,72 respectivamente) y el segundo punto (SMF0M4) de Santa María de Melque (1,76). Por el contrario, los valores más altos son el primer (SPF1M3), segundo (SPF1M5) y tercer punto (SPF1M6) de San Pedro de la Nave (2,40, 2,26 y 2,29) y el primer punto (SCF1M2) de San Cebrián de Mazote (2,36). Las pistas auralizadas de los puntos con menor y mayor diferencia promedio corresponden con los recintos a los que pertenecen estas auralizaciones (menor en Santa Lucía del Trampal y mayor en San Pedro de la Nave).

Ahora se va a evaluar otro parámetro estadístico para analizar los resultados de la diferenciación: la desviación típica (desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución). Con este valor se podrá analizar la dispersión o concentración de los resultados de la diferenciación en la evaluación subjetiva de los oyentes.

Los puntos con la desviación menor se corresponden con los que pertenecen a la Iglesia de San Pedro de la Nave (0,61). Estos puntos e Iglesia corresponden con las pistas auralizadas en las que se ha evaluado que presentan mayor disparidad en su percepción. La mayoría de los sujetos que participaron en la evaluación subjetiva apreciaron la desigualdad entre pistas definiéndola como moderada o mucha.

Los puntos con mayor desviación (SCF1M8 y SCF1M11 con valores de 0,83 y 0,85 respectivamente) pertenecen a la Iglesia de San Cebrián de Mazote. Aquí no se aprecia ninguna relación entre la diferencia promedio y la desviación típica.

Por último, se va a evaluar la moda de los resultados de la diferenciación para cada punto. Este valor nos dará la valoración más repetida por los oyentes para cada par de respuestas impulsivas. El resultado de este parámetro estadístico es bastante uniforme en todos los puntos siendo 2 (moderado), excepto en un punto (SLF1M1) donde la moda es 1 (poco), que corresponde al que también tiene un menor promedio en la diferenciación. Como ya se comentó antes, el punto SLF1M1 de la Iglesia de Santa Lucía del Trampal es en el que la diferencia entre la respuesta impulsiva y simulada ha sido menor en la evaluación subjetiva realizada con este test de escucha.

Ahora se van a analizar los resultados de la diferenciación con respecto cada sesión y, posteriormente, con respecto a cada audio auralizado. Lo primero que se analizarán serán las diferencias evaluadas por los sujetos en la sesión 1 del test escucha. Esta sesión la realizaron 20 sujetos. En la Tabla. XLVI. se exponen los resultados de la diferenciación de esta sesión con el análisis estadístico de cada triada o punto con respecto la media, la desviación típica y la moda.

Si se observa la columna correspondiente a la media de las diferencias de cada triada, destaca el valor de la triada 3, al ser bastante inferior al resto. En esta triada la diferencia promedio ha sido de 0.9, siendo menor de 1 (poco). Esto indica que en esta triada los sujetos participantes en esta sesión del test de escucha han tenido problemas para diferenciar entre el par de pistas auralizadas, llegando a considerarse iguales en varios casos por distintos sujetos. Además en esta triada la desviación

típica es baja (con respecto al promedio de desviaciones) y la moda es 1, que es el valor que se le ha asignado a percibir poca diferencia.

Tabla. XLVI. Resultados de la diferenciación de la primera parte de la sesión 1 del test de escucha por cada triada, con el promedio, desviación típica y moda de éstos.

También destaca la triada 8, pero por todo lo contrario. Esta triada tiene un promedio de diferenciación elevado (2,7), en el que la mayoría de los oyentes ha evaluado la diferencia como grande, teniendo la menor desviación entre las triadas. Se vuelve a producir que el punto con el promedio con mayor diferencia, es el que tiene menor desviación típica (0,47). Esto se va a repetir también en las otras dos sesiones. Además esta triada tiene una moda de 3, siendo éste el valor máximo para caracterizar la diferencia entre pistas auralizadas.

Al analizar los promedios de los oyentes, se observa que la valoración de los distintos sujetos sobre la diferencia entre las pistas auralizadas, es dispar. Los oyentes de esta sesión han realizado el test con las mismas auralizaciones, por lo tanto, la diferencia es debida a la subjetividad de las personas al valorar las comparaciones entre audios. Por ejemplo, hay sujetos (como el 13) con promedios más cercanos al 1 (poca diferencia), y otros, como el 31 y el 52, más próximos al 3 (mucho diferencia). Esto mismo sucede también con las sesión 2 y 3, como se puede visualizar en la Tabla. XLVII y la Tabla. XLVIII.

En la sesión 2 la triada con menor promedio de diferenciación es la 3 (1,37), por el contrario, la triada con el valor mayor es la 2 (2,68). Como en el caso anterior,

este máximo en el promedio, se corresponde con la triada que tiene una menor desviación. Con respecto a la moda, la sesión 2 tiene dos triadas en los que el valor que más se repite es el 3 (triada 2 y 8), y una triada (11) en la que la moda es 1. El resto de triadas tiene el valor de diferencia moderado, 2.

	SUJETOS - TEST 2																						
TRIADA	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	Media	Desv típica	Moda	
1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2,37	0,50	2	
2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	2,68	0,48	3	
3	1	1	0	2	2	2	2	1	1	2	0	1	1	2	2	2	2	2	0	1,37	0,76	2	
4	2	2	3	2	2	2	2	1	1	3	2	2	3	2	1	1	2	3	1	1,95	0,71	2	
5	1	2	0	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	3	1	1,63	0,68	2	
6	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	2	2	2	3	2	1,79	0,63	2	
7	2	2	0	1	1	1	2	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	1,89	0,81	2	
8	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2	2,58	0,51	3	
9	2	2	0	2	2	3	2	1	1	3	2	1	2	3	2	1	2	3	2	1,89	0,81	2	
10	2	2	1	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2	3	1	1	2	3	3	1,79	0,79	2	
11	1	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	1	1	1	3	1	1,79	0,85	1	
12	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	3	2	1,68	0,58	2	
13	2	3	2	2	2	2	3	2	1	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2,21	0,54	2	
14	2	2	3	2	2	3	3	3	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2	2,42	0,61	2	
15	1	1	0	2	1	2	2	1	1	3	2	1	2	2	2	2	2	3	1	1,63	0,76	2	
16	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	2	2	3	1	2,32	0,58	2	
17	2	2	1	3	2	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	2	2,37	0,60	2	
18	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2,47	0,51	2	
Prom oye	1,83	1,94	1,56	2,17	1,78	2,28	2,22	1,72	1,39	2,72	2,22	1,72	2,06	2,61	1,94	1,78	2,17	2,94	1,83	2,05	0,65	2,06	

Tabla. XLVII. Resultados de la diferenciación de la primera parte de la sesión 2 del test de escucha por cada triada, con el promedio, desviación típica y moda de éstos.

La triada con menor promedio de diferenciación en la sesión 3 corresponde con el de la triada 12 (1,47), que también tiene el valor de la moda más bajo, 1 (poca diferencia). El resto de valores de moda en las otras triadas es 2 (moderado). En cambio, las triadas 6 y 8 son las que tiene los valores más altos (2,42 y 2,47).

Los promedios, desviaciones y modas de las tres sesiones son muy similares (ver Tabla. XLIX), por lo cual no se van a poder extraer demasiadas conclusiones de las sesiones con respecto a la subjetividad de los oyentes. La diferencia entre las sesiones será debido a que cada sesión tiene la misma respuesta impulsiva auralizada con un audio distinto (voz hablada, palmadas o música).

	SUJETOS - TEST 3																						
TRIADA	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	Media	Desv típica	Moda	
1	1	2	3	2	1	0	2	1	3	2	2	2	1	2	2	2	1	3	2	1,79	0,79	2	
2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2,21	0,54	2	
3	3	1	2	2	1	2	2	3	3	0	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2,05	0,78	2	
4	1	3	1	2	1	0	3	1	2	1	1	3	2	2	2	2	2	3	2	1,79	0,85	2	
5	2	1	2	3	1	2	2	2	2	3	1	3	1	2	2	2	2	2	2	1,95	0,62	2	
6	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2,47	0,51	2	
7	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	3	1,95	0,52	2	
8	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2,42	0,51	2	
9	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2,00	0,58	2	
10	2	1	2	2	3	0	2	1	1	2	2	3	2	1	2	1	2	2	2	1,74	0,73	2	
11	3	2	2	2	1	1	2	1	1	3	2	2	2	1	3	2	2	1	2	1,84	0,69	2	
12	1	1	1	1	0	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	1,47	0,70	1	
13	2	2	2	3	1	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	1	1,95	0,62	2	
14	2	1	3	2	2	2	2	2	1	3	1	3	3	2	2	2	2	1	2	2,00	0,67	2	
15	1	1	2	3	3	1	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,89	0,66	2	
16	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2,16	0,50	2	
17	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	1	3	2	2,26	0,56	2	
18	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	2,32	0,48	2	
Prom oye	2,00	1,72	1,94	2,17	1,72	1,33	2,11	1,78	2,06	2,39	1,83	2,44	1,94	2,17	2,06	2,28	1,94	2,33	2,06	2,01	0,63	1,94	

Tabla. XLVIII. Resultados de la diferenciación de la primera parte de la sesión 3 del test de escucha por cada triada, con el promedio, desviación típica y moda de éstos

	Media	Desv típica	Moda
Sesión 1	2,04	0,65	2,11
Sesión 2	2,05	0,65	2,06
Sesión 3	2,01	0,63	1,94

Tabla. XLIX. Promedios de la media, desviación típica y moda de las tres sesiones

Después de haber analizado los resultados del test de escucha dependiendo de la sesión realizada por los oyentes en la evaluación subjetiva, se va a evaluar en los resultados de cada punto con respecto a los tres audios que se utilizaron para generarse las pistas auralizadas con las respuestas impulsivas.

En la Tabla. L se representan los resultados por cada punto en los que las pistas auralizadas se han generado con el audio 1 (voz hablada). Además, por cada punto y recinto se han obtenido la media, la desviación típica y la moda de los resultados de diferenciación del test de escucha. Esto se ha repetido en las otras dos tablas de los otros dos audios (Tabla. LI y Tabla. LII).

Evaluando los valores estadísticos de las diferencias entre auralizaciones de los diferentes puntos y recintos, se extraen las siguientes conclusiones:

- Con respecto a la media, el valor mínimo de diferencia (1,6) corresponde con el del punto SLF1M1 de la Iglesia de Santa Lucía del

Trampal (recinto con menos media), y el máximo con el punto SPF1M3 de la Iglesia de San Pedro de la Nave (recinto con mayor media).

- Analizando la desviación típica, los valores mínimos (0,49) corresponden a los de los puntos SCF1M2 y SJF1M7 de las Iglesias de San Cebrián de Mazote (recinto con menor desviación junto con la Iglesia de San Pedro de la Nave) y San Juan de Baños, respectivamente. En cambio, los valores de máxima desviación (0,85 y 0,83) pertenecen a los puntos SIF1P12 y SIF1P1 de la Iglesia de Santo Domingo de Silos respectivamente. Este recinto también es el que tiene mayor desviación típica.
- Todos los valores de moda dan 2, excepto en el del punto SPF1M3 de la Iglesia de San Pedro de la Nave, que tiene el valor de 3 (mucho diferencia).

Iglesia	T30	Punto	AUDIO 1																				Media	Desv típica	Moda	Media	Desv típica	Moda
SC	2,84	SCF1M2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3	2,35	0,49	2	2,17	0,59	2	
SC	2,84	SCF1M8	1	2	3	2	1	0	2	1	3	2	2	2	1	2	2	2	1	3	2	1,79	0,79	2				
SC	2,84	SCF1M11	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2,37	0,50	2					
SI	6,34	SIF1P1	1	2	2	3	0	3	1	1	2	1	2	2	2	1	1	3	2	2	2	1,80	0,83	2	1,85	0,80	2	
SI	6,34	SIF1P12	1	3	1	2	1	0	3	1	2	1	1	3	2	2	2	2	3	2	1,79	0,85	2					
SI	6,34	SIF1P18	2	2	3	2	2	2	2	1	1	3	2	2	3	2	1	1	2	3	1	1,95	0,71	2				
SJ	1,32	SJF1M7	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	3	1,85	0,49	2	1,90	0,61	2	
SJ	1,32	SJF1M14	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	3	1,95	0,52	2					
SJ	1,32	SJF1M15	2	2	0	1	1	1	1	2	1	2	3	3	2	2	2	2	2	3	1,89	0,81	2					
SL	0,845	SLF1M1	1	2	2	2	0	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1,60	0,68	2	1,71	0,73	2	
SL	0,845	SLF1M4	2	1	2	2	3	0	2	1	1	2	2	3	2	1	2	1	2	2	1,74	0,73	2					
SL	0,845	SLF1M7	2	2	1	2	0	2	2	1	1	2	2	2	3	1	1	2	3	3	1,79	0,79	2					
SM	2,05	SMFOM3	3	2	1	2	1	2	3	2	1	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2,20	0,70	2	2,12	0,62	2	
SM	2,05	SMFOM4	2	2	2	3	1	1	2	1	2	2	2	2	3	2	3	2	2	1	1,95	0,62	2					
SM	2,05	SMFOM5	2	3	2	2	2	2	3	2	1	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2,21	0,54	2				
SP	1,17	SPF1M3	2	2	2	3	1	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2,50	0,69	3	2,32	0,59	2	
SP	1,17	SPF1M5	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2,16	0,50	2				
SP	1,17	SPF1M6	2	2	2	3	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	2	2	3	1	2,32	0,58	2					
																						2,01	0,66	2,06	2,01	0,66	2	

Tabla. L. Resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto (Audio 1), con el promedio, desviación típica y moda de éstos.

La siguiente tabla de resultados que se va a comentar es la Tabla. LI, que presenta los mismos resultados que la anterior, pero sobre la diferenciación de las triadas de cada punto, con las auralizaciones generadas con el audio 2 (palmadas).

Analizando los valores estadísticos de las diferencias entre auralizaciones de los diferentes puntos y recintos, se extrae la siguiente información:

- Con respecto la media, el valor mínimo del promedio de diferencia (1,63) corresponde al del punto SIF1P1 de la Iglesia de Santa Domingo de Silos, y el máximo con el punto SJF1M14 de la Iglesia de San Juan

de Baños (recinto con mayor media). El recinto con menor media es la Iglesia de Santa Lucía del Trampal

- Analizando la desviación típica, el valor mínimo (0,47) corresponde al del punto SJF1M14 de la Iglesias de San Juan de Baños (recinto con menor desviación y con mayor media). En cambio, el valor de máxima desviación (0,85) pertenece al punto SLF1M1 de la Iglesia de Santa Lucía del Trampal. Este recinto también es el que tiene mayor desviación típica.
- La moda de las diferencias entre las auralizaciones de los puntos SCF1M2 de la Iglesia de San Cebrián de Mazote y los puntos SJF1M7 y SJF1M14 de la Iglesia de San Juan de Baños tienen el valor de 3. El punto SLF1M1 de la Iglesia de Santa Lucía del Trampal tiene moda 1. El resto de puntos, tienen moda igual a 2.

Iglesia	T30	Punto	AUDIO 2																				Media	Desv típica	Moda	Media	Desv típica	Moda	
SC	2,84	SCF1M2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2		2,68	0,48	3				
SC	2,84	SCF1M8	2	2	2	3	3	2	2	1	2	2	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	2,40	0,60	2	2,43	0,54	2	
SC	2,84	SCF1M11	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2		2,21	0,54	2				
SI	6,34	SIF1P1	1	2	0	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	3	1		1,63	0,68	2				
SI	6,34	SIF1P12	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3		2,40	0,60	2	1,99	0,63	2	
SI	6,34	SIF1P18	2	1	2	3	1	2	2	2	2	3	1	3	1	2	2	2	2	2	2		1,95	0,62	2				
SJ	1,32	SJF1M7	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2		2,58	0,51	3				
SJ	1,32	SJF1M14	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3		2,70	0,47	3	2,57	0,49	3	
SJ	1,32	SJF1M15	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2		2,42	0,51	2				
SL	0,845	SLF1M1	1	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	1	1	1	3	1		1,79	0,85	1				
SL	0,845	SLF1M4	2	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3		2,25	0,72	2	1,96	0,75	2
SL	0,845	SLF1M7	3	2	2	2	1	1	2	1	1	3	2	2	2	1	3	2	2	1	2		1,84	0,69	2				
SM	2,05	SMF0M3	2	2	3	2	2	3	3	3	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2		2,42	0,61	2				
SM	2,05	SMF0M4	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	3	1	1	2	3	2	2	2	2	2		1,70	0,66	2	2,04	0,64	2
SM	2,05	SMF0M5	2	1	3	2	2	2	2	2	1	3	1	3	3	2	2	2	2	1	2		2,00	0,67	2				
SP	1,17	SPF1M3	2	2	1	3	2	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	2		2,37	0,60	2				
SP	1,17	SPF1M5	1	2	2	1	2	3	1	3	1	2	3	2	2	2	3	3	2	3	2	3		2,15	0,75	2	2,26	0,63	2
SP	1,17	SPF1M6	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	1	3	2		2,26	0,56	2				
																						2,21	0,62	2,11	2,21	0,62	2		

Tabla. LI. Resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto (Audio 2), con el promedio, desviación típica y moda de éstos.

Después de la evaluación de la Tabla. L y la Tabla. LI, se va a comentar la Tabla. LII, que presenta los mismos resultados que las anteriores, pero sobre la diferenciación de las triadas de cada punto, con las auralizaciones generadas con el audio 3 (música).

Analizando los valores estadísticos de las diferencias entre auralizaciones de los diferentes puntos y recintos, se extrae la siguiente información:

- El punto SCF1M11 de la Iglesia de San Cebrián de Mazote tiene el valor promedio de diferencias menor (0,9) de todas las triadas que se

han evaluado. El valor máximo corresponde con el punto SIF1P1 de la Iglesia de Santo Domingo de Silos y el punto SPF1M5 de la Iglesia de San Pedro de la Nave (recinto con mayor media). El recinto con menor media es la Iglesia de Santa Cebrián de Mazote.

- Analizando la desviación típica, el valor mínimo (0,48) corresponde con el del punto SPF1M3 de la Iglesia de San Pedro de la Nave (recinto con menor desviación y con mayor media). En cambio, el valor de máxima desviación (0,89) pertenece al punto SJF1M15 de la Iglesia de San Juan de Baños. Este recinto también es el que tiene mayor desviación típica.
- La moda de las diferencias entre las auralizaciones del punto SCF1M11 de la Iglesia de San Cebrián de Mazote y el punto SLF1M1 de la Iglesia de Santa Lucía del Trampal tienen el valor de 1. El punto SPF1M6 de la Iglesia de San Pedro de la Nave tiene moda 3. El resto de puntos, tienen moda igual a 2.

Iglesia	T30	Punto	AUDIO 3																		Media	Desv típica	Moda	Media	Desv típica	Moda	
SC	2,84	SCF1M2	3	1	2	2	1	2	2	3	3	0	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2,05	0,78	2			
SC	2,84	SCF1M8	1	1	0	2	2	2	2	1	1	2	0	1	1	2	2	2	2	2	0	1,37	0,76	2	1,44	0,70	2
SC	2,84	SCF1M11	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	0,90	0,55	1			
SI	6,34	SIF1P1	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2,47	0,51	2			
SI	6,34	SIF1P12	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	2	2	2	3	2	1,79	0,63	2	2,17	0,59	2
SI	6,34	SIF1P18	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2	1	3	3	2	3	2	2,25	0,64	2			
SJ	1,32	SJF1M7	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2,00	0,58	2			
SJ	1,32	SJF1M14	2	2	0	2	2	3	2	1	1	3	2	1	2	3	2	1	2	3	2	1,89	0,81	2	1,95	0,76	2
SJ	1,32	SJF1M15	3	1	1	2	1	2	2	0	2	2	3	2	1	1	3	2	2	3	3	1,95	0,89	2			
SL	0,845	SLF1M1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	1,47	0,70	1			
SL	0,845	SLF1M4	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	3	2	2	1,68	0,58	2	1,57	0,66	2
SL	0,845	SLF1M7	1	1	2	0	1	2	3	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,55	0,69	2			
SM	2,05	SMFOM3	1	1	2	3	3	1	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1,89	0,66	2			
SM	2,05	SMFOM4	1	1	0	2	1	2	2	1	1	3	2	1	2	2	2	2	3	1	2	1,63	0,76	2	1,83	0,67	2
SM	2,05	SMFOM5	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	1	3	2	3	1,95	0,60	2			
SP	1,17	SPF1M3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	2,32	0,48	2			
SP	1,17	SPF1M5	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2,47	0,51	2	2,36	0,57	2
SP	1,17	SPF1M6	2	2	2	2	1	1	3	2	2	2	3	3	3	1	2	3	3	3	3	2,30	0,73	3			
																					1,89	0,66	1,94	1,89	0,66	2	

Tabla. LII. Resultados de la diferenciación de la primera parte del test de escucha por cada punto (Audio 3), con el promedio, desviación típica, moda y rango de éstos.

	Media	Desv típica	Moda
Audio 1	2,01	0,66	2,06
Audio 2	2,21	0,62	2,11
Audio 3	1,89	0,66	1,94

Tabla. LIII. Promedios de la media, desviación típica y moda de la diferencias de los puntos con respecto a cada audio

El promedio de las diferencias de las triadas de las auralizaciones generadas con el audio 1 (voz hablada), es de 2,01; con el audio 2 (palmadas), es de 2,21; y con el audio 3 (música), es de 1,89. Analizando estos datos en la Tabla. LIII, se ve la diferencia en la comparación entre las auralizaciones (se hayan generado éstas con un audio u otro). Las respuestas impulsivas son las mismas en los tres casos (tres tipos de audio). La diferencia es el audio con el que se auraliza (convoluciona) la respuesta impulsiva, generando la pista auralizada. Con el audio más impulsivo (palmadas) se perciben mayores diferencias entre las auralizaciones generadas con respuestas impulsivas medidas y simuladas. Por el contrario con un audio musical, con mayor rango del espectro frecuencial, las diferencias son menores. En un apartado posterior se comparan estos datos subjetivos con los objetivos, para ver cómo están relacionados. De esta relación y con qué tipo de audio se hayan generado las auralizaciones en cada caso, también dará lugar a la obtención de más conclusiones.

Con respecto la desviación típica los valores entre la diferenciación de las auralizaciones generadas por un audio u otro, son similares (0,62-0,66), y los valores de moda son diferentes (2,06, 2,11, y 1,94 de audio 1, 2 y 3 respectivamente), aunque más próximos entre ellos que los de la media. Las relaciones que guardan entre ellas son parecidas a las obtenidas en la media.

5.8. Rangos de la diferenciación de las pistas auralizadas de cada punto

Después de haber analizado los resultados de la diferenciación de las pistas auralizadas generadas con respuestas impulsivas medidas y simuladas con varios audios, se va a evaluar en este apartado los rangos de la evaluación de la diferenciación de las auralizaciones de cada punto.

En la Tabla. LIV aparece por cada punto (auralizaciones generadas de ese punto), el número de oyentes que ha considerado la diferencia como nula (0), pequeña (1), moderada (2) y grande (3). La representación gráfica de esta tabla aparece en la Figura 33, en la que por cada punto, se representan el número de oyentes que han evaluado la diferencia entre las pistas auralizadas con un valor u otro.

Iglesia	T30	Punto	0	1	2	3	Suma
SC	2,84	SCF1M2	1	2	30	25	58
SC	2,84	SCF1M8	4	12	30	12	58
SC	2,84	SCF1M11	4	15	27	12	58
SI	6,34	SIF1P1	2	12	30	14	58
SI	6,34	SIF1P12	1	13	29	15	58
SI	6,34	SIF1P18	0	11	33	14	58
SJ	1,32	SJF1M7	0	7	36	15	58
SJ	1,32	SJF1M14	1	7	30	20	58
SJ	1,32	SJF1M15	2	9	29	18	58
SL	0,85	SLF1M1	2	25	24	7	58
SL	0,85	SLF1M4	1	15	31	11	58
SL	0,85	SLF1M7	2	19	30	7	58
SM	2,05	SMF0M3	0	9	30	19	58
SM	2,05	SMF0M4	1	19	31	7	58
SM	2,05	SMF0M5	0	9	37	12	58
SP	1,17	SPF1M3	0	3	29	26	58
SP	1,17	SPF1M5	0	5	33	20	58
SP	1,17	SPF1M6	0	5	31	22	58

Tabla. LIV. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto

Tras analizar la Tabla. LIV y la Figura 33 se exponen las siguientes conclusiones:

- Los picos de las gráficas (máximo en número de oyentes) corresponden con el valor de la moda de cada punto que se analizó en el apartado 5.7 anterior. Todos los puntos tienen el máximo en 2, excepto el punto SLF1M1 de la Iglesia de Santa Lucía del Trampal, que tiene el máximo en el 1 (poca diferencia)
- En las gráficas se observa la dispersión o concentración de los resultados, teniendo un rango más o menos uniforme. Si los resultados se concentran sobre todo en uno o dos valores, la dispersión es menor y la valoración está más concentrada (por ejemplo, en los puntos SPF1M5, SPF1M6 y SCF1M2). En cambio, si las valoraciones de los oyentes no se diferencian tanto entre unos valores u otros, hay menos concentración en la evaluación (por ejemplo, en los puntos SCF1M8 y SCF1M11).

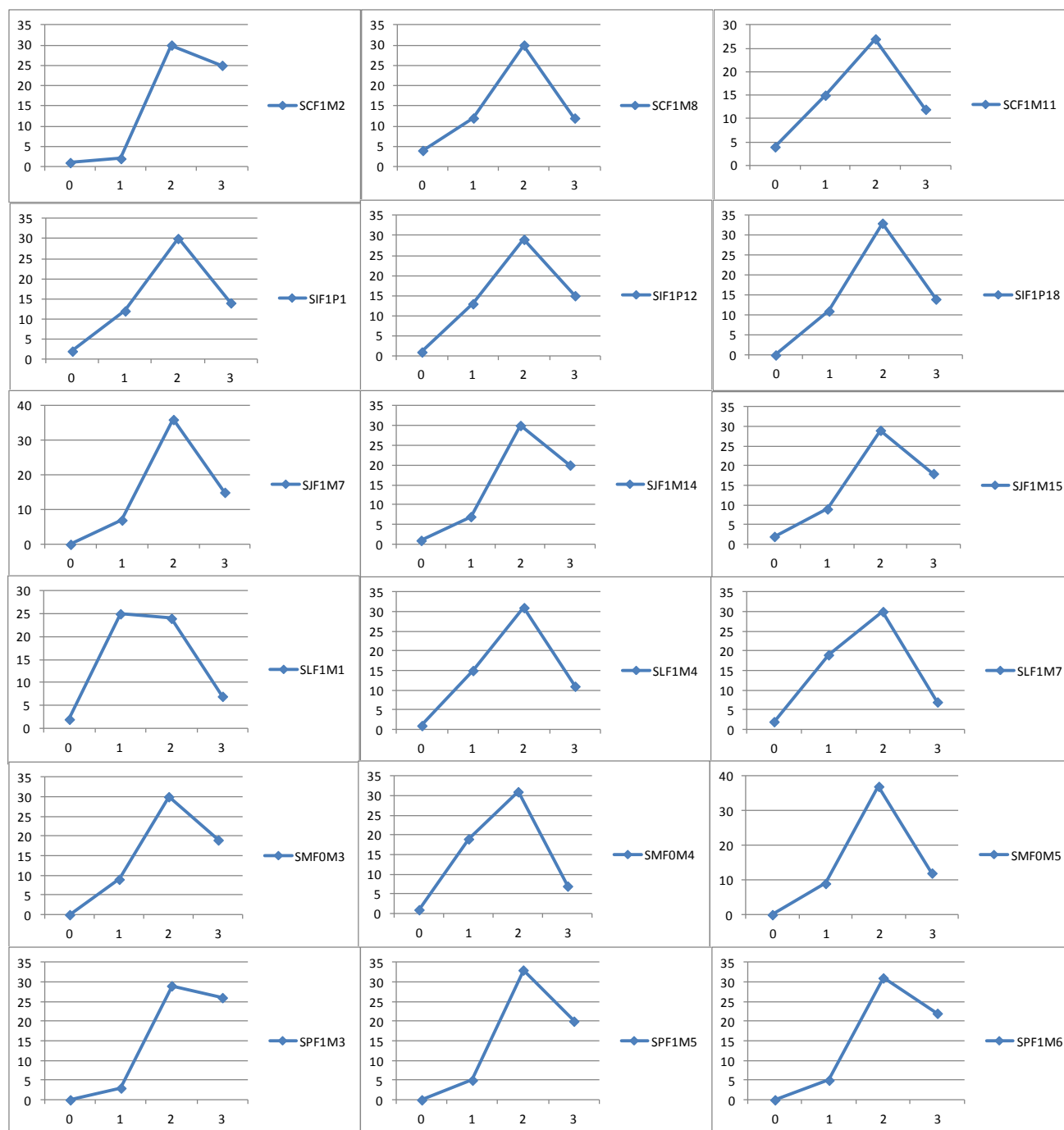


Figura 33. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho en cada punto

Después de analizar los rangos de los resultados totales, se va a proceder de la misma manera a evaluar los mismos datos pero separándolos por audios con los que se han generado las auralizaciones. Habrá tres tablas (Tabla. LV, Tabla. LVI y Tabla. LVII), una para cada audio, en la que aparecerán para cada punto (auralizaciones generadas de ese punto), el número de oyentes que ha considerado la diferencia nula (0), pequeña (1), moderada (2) y grande (3).

Iglesia	T30	Punto	0	1	2	3	Suma
SC	2,84	SCF1M2	0	0	13	7	20
SC	2,84	SCF1M8	1	5	10	3	19
SC	2,84	SCF1M11	0	0	12	7	19
SI	6,34	SIF1P1	1	6	9	4	20
SI	6,34	SIF1P12	1	6	8	4	19
SI	6,34	SIF1P18	0	5	10	4	19
SJ	1,32	SJF1M7	0	4	15	1	20
SJ	1,32	SJF1M14	0	3	14	2	19
SJ	1,32	SJF1M15	1	4	10	4	19
SL	0,85	SLF1M1	1	7	11	1	20
SL	0,85	SLF1M4	1	5	11	2	19
SL	0,85	SLF1M7	1	5	10	3	19
SM	2,05	SMF0M3	0	3	10	7	20
SM	2,05	SMF0M4	0	4	12	3	19
SM	2,05	SMF0M5	0	1	13	5	19
SP	1,17	SPF1M3	0	2	6	12	20
SP	1,17	SPF1M5	0	1	14	4	19
SP	1,17	SPF1M6	0	1	11	7	19

Tabla. LV. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto con el audio 1

Iglesia	T30	Punto	0	1	2	3	Suma
SC	2,84	SCF1M2	0	0	6	13	19
SC	2,84	SCF1M8	0	1	10	9	20
SC	2,84	SCF1M11	0	1	13	5	19
SI	6,34	SIF1P1	1	6	11	1	19
SI	6,34	SIF1P12	0	1	10	9	20
SI	6,34	SIF1P18	0	4	12	3	19
SJ	1,32	SJF1M7	0	0	8	11	19
SJ	1,32	SJF1M14	0	0	6	14	20
SJ	1,32	SJF1M15	0	0	11	8	19
SL	0,85	SLF1M1	0	9	5	5	19
SL	0,85	SLF1M4	0	3	9	8	20
SL	0,85	SLF1M7	0	6	10	3	19
SM	2,05	SMF0M3	0	1	9	9	19
SM	2,05	SMF0M4	0	8	10	2	20
SM	2,05	SMF0M5	0	4	11	4	19
SP	1,17	SPF1M3	0	1	10	8	19
SP	1,17	SPF1M5	0	4	9	7	20
SP	1,17	SPF1M6	0	1	12	6	19

Tabla. LVI. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto con el audio 2

Iglesia	T30	Punto	0	1	2	3	Suma
SC	2,84	SCF1M2	1	2	11	5	19
SC	2,84	SCF1M8	3	6	10	0	19
SC	2,84	SCF1M11	4	14	2	0	20
SI	6,34	SIF1P1	0	0	10	9	19
SI	6,34	SIF1P12	0	6	11	2	19
SI	6,34	SIF1P18	0	2	11	7	20
SJ	1,32	SJF1M7	0	3	13	3	19
SJ	1,32	SJF1M14	1	4	10	4	19
SJ	1,32	SJF1M15	1	5	8	6	20
SL	0,85	SLF1M1	1	9	8	1	19
SL	0,85	SLF1M4	0	7	11	1	19
SL	0,85	SLF1M7	1	8	10	1	20
SM	2,05	SMF0M3	0	5	11	3	19
SM	2,05	SMF0M4	1	7	9	2	19
SM	2,05	SMF0M5	0	4	13	3	20
SP	1,17	SPF1M3	0	0	13	6	19
SP	1,17	SPF1M5	0	0	10	9	19
SP	1,17	SPF1M6	0	3	8	9	20

Tabla. LVII. Número de oyentes que han asignado valores de diferenciación (nada, poco, moderado o mucho) en cada punto con el audio 3

Además de estas tres tablas (Tabla. LV, Tabla. LVI y Tabla. LVII), se representan el número de oyentes que han evaluado la diferencia entre las pistas auralizadas con un valor u otro en tres gráficas (Figura 34, Figura 35 y Figura 36), una para cada tipo de audio con el que se han generado las auralizaciones.

Después de analizar las tablas y gráficos comentados, se ha llegado a la misma conclusión obtenida sobre los resultados totales (Tabla. LIV y Figura 33). A continuación se describe lo más destacado:

- Los picos de las gráficas (máximo en número de oyentes) corresponden con el valor de la moda de cada punto que se analizó en el apartado 5.7 anterior.
- En las gráficas se observa la dispersión o concentración de los resultados, teniendo un rango más o menos uniforme. Si los resultados se concentran sobre todo en uno o dos valores, la dispersión es menor y la valoración está más concentrada. En cambio, si las valoraciones de los oyentes no se diferencian tanto entre unos valores u otros, hay menos concentración en la evaluación. A continuación, se describirá algún caso destacado en las gráficas.

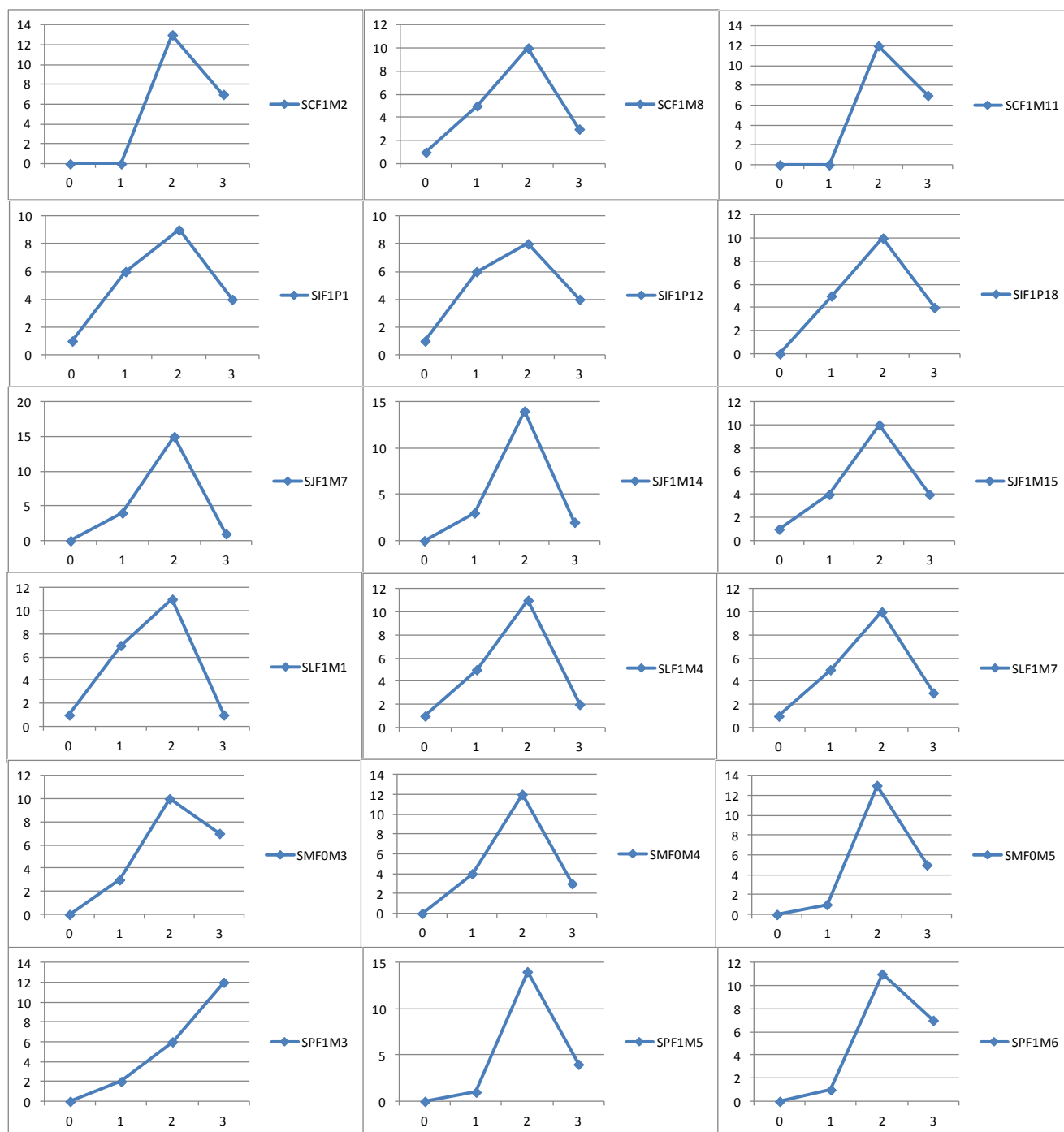


Figura 34. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho, en cada punto con el audio 1

Las gráficas de los puntos más “agudos” (SCF1M2 y SJF1M7), en los que el rango está más concentrado, son los puntos que para este audio tienen la desviación típica menor. En cambio, los puntos que tenían la desviación típica mayor (SIF1P1 y SIF1P12), son los que tienen el rango más abierto y disperso y menos concentrado (no hay tanta diferencia de peso entre valores).

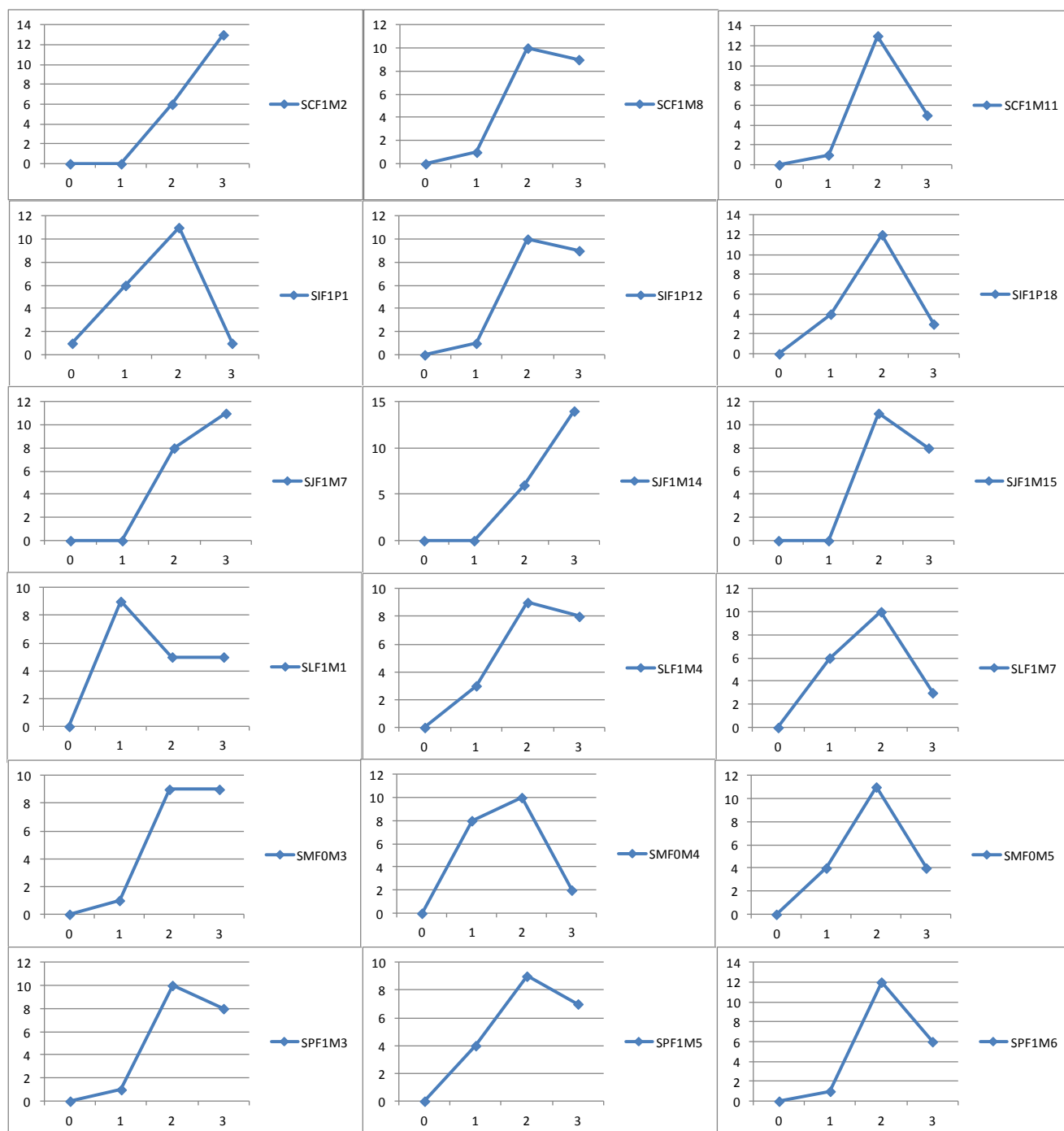


Figura 35. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho, en cada punto con el audio 2

Las gráficas de los puntos con la representación con forma más “aguda” (SCF1M2, SJF1M7 y SJF1M14), en los que el rango está más concentrado, son los puntos que para este audio tienen la desviación típica menor. Los dos primeros también lo eran en el audio 1. En cambio, el punto que tenía la desviación típica mayor (SLF1M1), es el que tiene el rango más abierto y disperso, y menos concentrado (no hay tanta diferencia de peso entre valores).

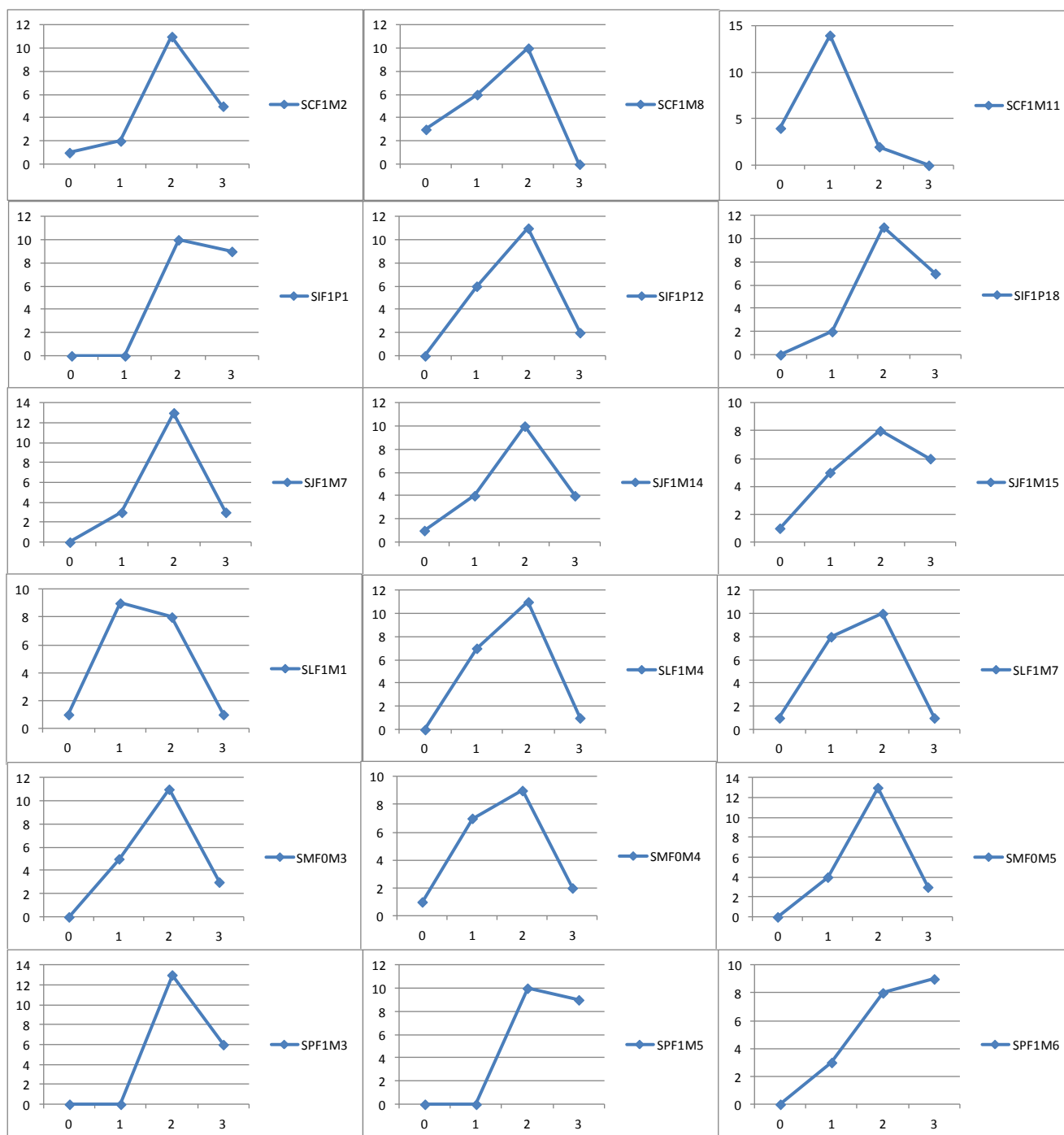


Figura 36. Gráfica con el número de oyentes que valoran la diferenciación con: nada, poco, moderado o mucho, en cada punto con el audio 3

Las gráficas con la representación con forma más “aguda” (SPF1M3, SPF1M5 y SIF1P1), en los que el rango está más concentrado, son los puntos que para este audio tienen la desviación típica menor. En cambio, los puntos que tenían la desviación típica mayor (SJF1M14 y SJF1M15), son los que tienen el rango más abierto y disperso y menos concentrado (no hay tanta diferencia de peso entre valores).

5.9. Relación entre valores de JND y valores de diferenciación por evaluación subjetiva

Como ya se comentó en el apartado 1.2, uno de los objetivos del proyecto es estudiar la relación que guardan los valores de diferencia JND que se han calculado de los parámetros acústicos objetivos con los valores de diferencia de la evaluación subjetiva obtenidos del test de escucha. En este apartado se va a realizar dicho estudio.

En la Tabla. LVIII se representan los valores JND de cada punto que ya se expusieron en el apartado 4.4 del presente documento, con los valores de la media, desviación típica y moda de cada punto y recinto de las diferenciaciones de las auralizaciones (los valores que ya se mostraron en la Tabla. XLV).

Iglesia	T30	Punto	Valores de JND					Codigo aural.	Media	Desv típica	Moda	Media	Desv típica	Moda
			Promedio	1 KHz	MID	T30 1KHz	T30 MID							
SC	2,84	SCF1M2	10,08	11,34	10,79	1,47	1,57	X-1-M, X-1-S	2,36	0,64	2	2,01	0,77	2
SC	2,84	SCF1M8	6,66	4,53	5,56	0,12	0,24	X-3-M, X-3-S	1,86	0,83	2			
SC	2,84	SCF1M11	6,13	4,56	5,54	0,46	0,47	X-5-M, X-5-S	1,81	0,85	2			
SI	6,34	SIF1P1	8,62	4,28	3,94	0,59	0,28	X-1-M, X-1-S	1,97	0,77	2	2,01	0,73	2
SI	6,34	SIF1P12	3,65	2,14	3,11	0,35	0,43	X-2-M, X-2-S	2,00	0,75	2			
SI	6,34	SIF1P18	3,64	1,61	1,55	0,12	0,18	X-3-M, X-3-S	2,05	0,66	2			
SJ	1,32	SJF1M7	5,39	5,99	5,34	0,75	0,81	X-6-M, X-6-S	2,14	0,61	2	2,14	0,70	2
SJ	1,32	SJF1M14	6,65	6,26	5,80	0,15	0,83	X-13-M, X-13-S	2,19	0,71	2			
SJ	1,32	SJF1M15	3,08	2,21	2,13	0,18	0,61	X-14-M, X-14-S	2,09	0,78	2			
SL	0,845	SLF1M1	4,61	1,91	3,21	3,26	4,66	X-1-M, X-1-S	1,62	0,75	1	1,75	0,73	2
SL	0,845	SLF1M4	3,17	3,52	2,57	1,91	2,08	X-3-M, X-3-S	1,90	0,72	2			
SL	0,845	SLF1M7	2,10	1,67	1,26	1,86	1,17	X-6-M, X-6-S	1,72	0,72	2			
SM	2,05	SMF0M3	5,43	5,30	4,80	0,32	0,52	X-3-M, X-3-S	2,17	0,68	2	1,99	0,66	2
SM	2,05	SMF0M4	1,65	0,62	0,39	1,13	0,52	X-4-M, X-4-S	1,76	0,68	2			
SM	2,05	SMF0M5	2,32	1,05	0,42	1,14	1,20	X-5-M, X-5-S	2,05	0,60	2			
SP	1,17	SPF1M3	3,06	4,03	3,33	0,83	0,14	X-2-M, X-2-S	2,40	0,59	2	2,32	0,61	2
SP	1,17	SPF1M5	2,44	1,70	1,46	1,03	0,34	X-4-M, X-4-S	2,26	0,61	2			
SP	1,17	SPF1M6	1,92	1,23	1,24	0,39	0,25	X-5-M, X-5-S	2,29	0,62	2			
									2,04	0,70	1,94	2,04	0,70	2

Tabla. LVIII. Resultados de la media, desviación típica y moda de la diferenciación del test de escucha por cada punto y por recinto comparándolos con los valores de JND.

Si nos quedamos con el valor promedio de diferenciación subjetiva más alto y el más bajo (SPF1M3 y SLF1M1 respectivamente) y los comparamos con los valores de JND, no corresponden con los valores más alto y más bajo de JND en ninguna de las 5 columnas. Esta forma directa de comparar los valores objetivos con los subjetivos no es la más adecuada, se tiene que realizar una evaluación más profunda.

Para realizar el análisis de la relación descrita anteriormente, hemos considerado evaluarla con las correlaciones entre valores de JND y valores de diferenciación subjetiva del test de escucha.

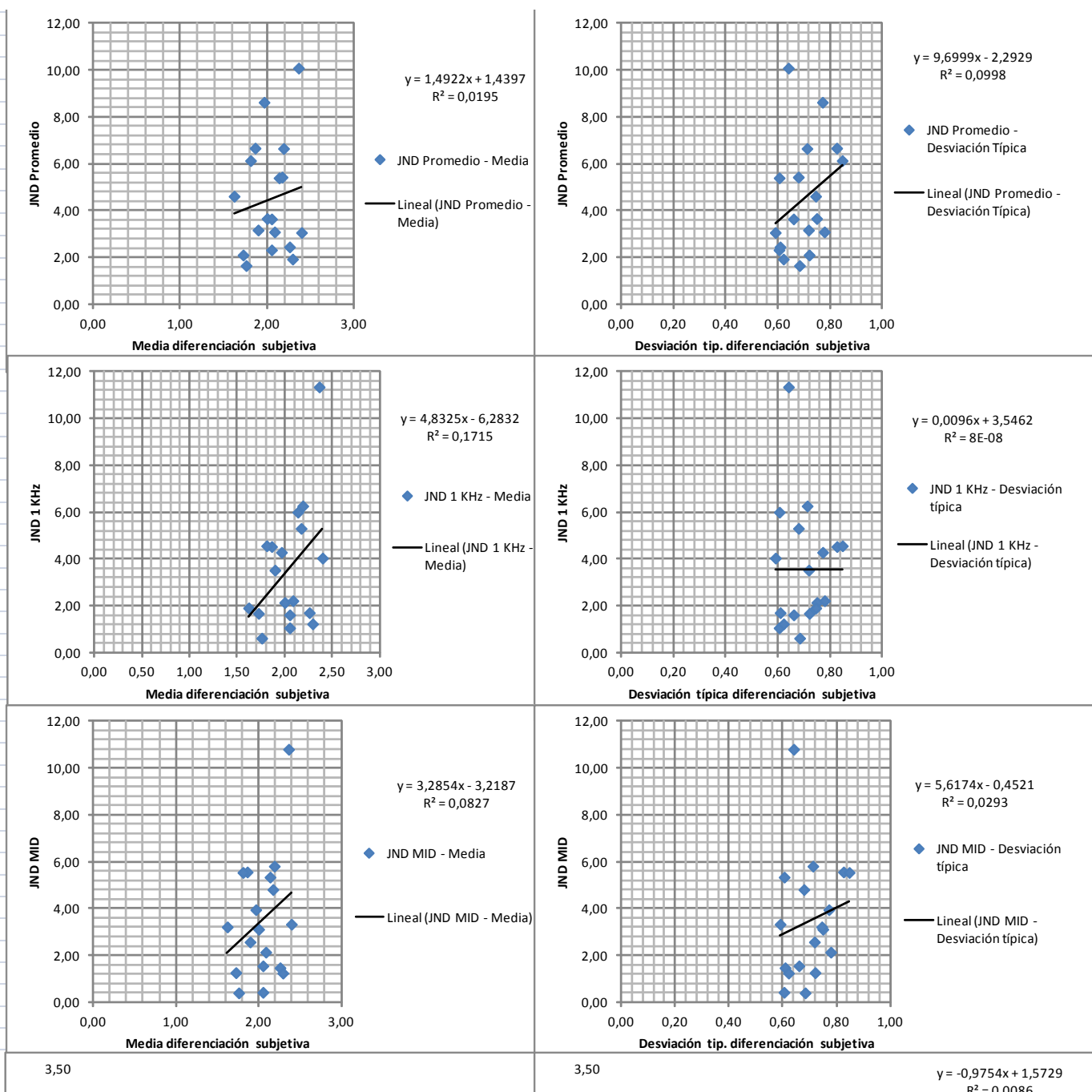


Figura 37. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media o desviación típica de la diferenciación subjetiva del test de escucha

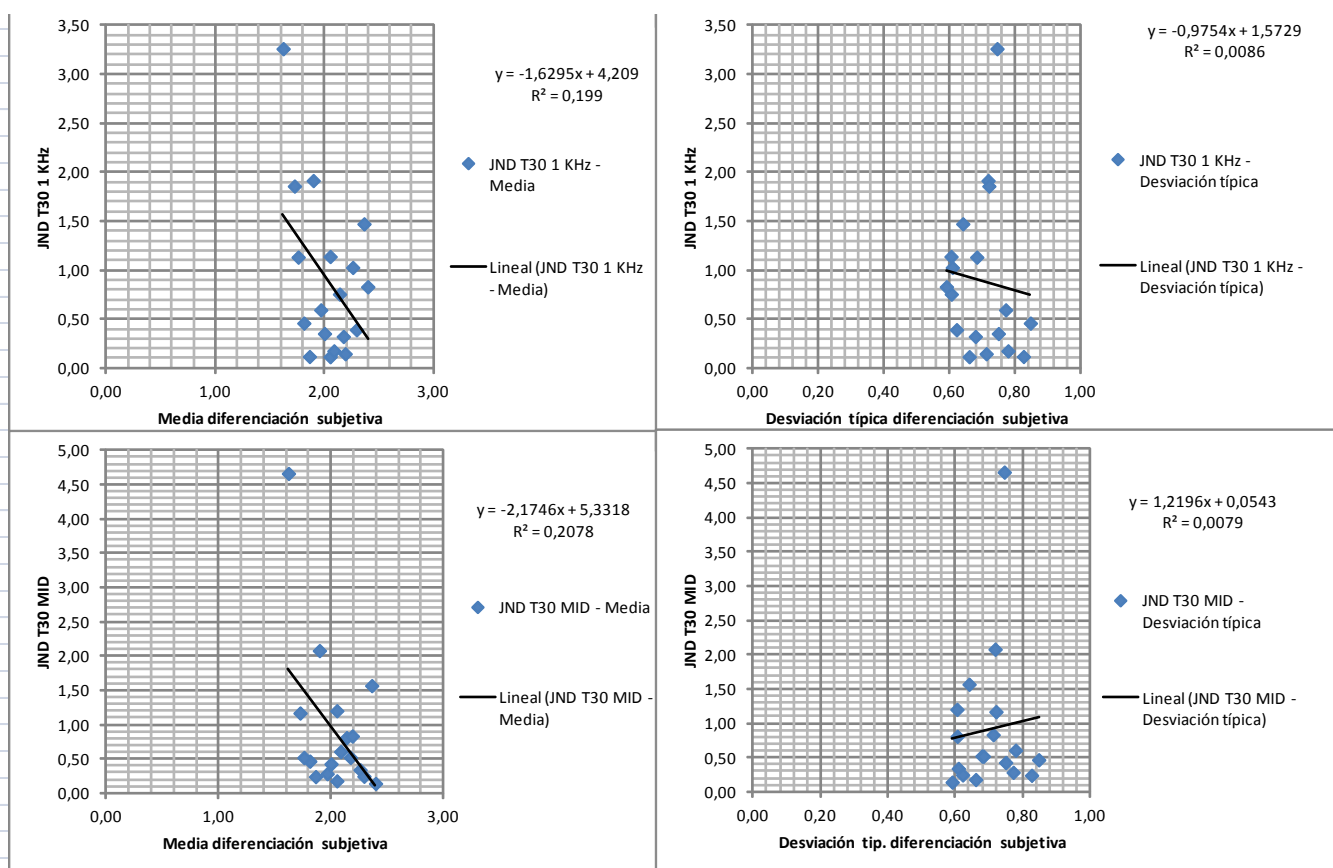


Figura 38. Correlaciones entre valores de JND (T30 1 KHz y T30 MID) y la media o desviación típica de la diferenciación subjetiva del test de escucha

En las gráficas de la Figura 37 y la Figura 38, se muestran las correlaciones entre distintos valores de JND (Promedio, 1 KHz, MID, T30 1 KHz y T30 MID) y la media y desviación típica de los resultados de la diferenciación subjetiva del test de escucha. Ya se explicó en el apartado 4.4 a qué se refiere cada valor de JND. No se han realizado correlaciones con respecto a la moda también, porque no era relevante, ya que, al representarlo, como casi todos los valores de moda son 2, obtenemos un resultado incoherente.

De estas gráficas, después de analizarlas, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Si nos fijamos sólo en las gráficas de la izquierda, las de la diferenciación media, las tres primeras (Promedio, 1 KHz y MID) son las que tienen una relación lineal ascendente: a mayor valor de JND, mayor diferenciación subjetiva. Se pretende que haya una relación entre las diferencias objetivas y subjetivas, y en estas tres gráficas se cumple. Sobre todo, si nos fijamos en la de “JND 1 KHz – Media”, en el que la

línea tiene mayor pendiente, el parámetro R^2 es mayor. R^2 expresa la proporción de variación conjunta (varianza común) e indica la precisión de la correlación. Cuanto mayor es el valor (varía de 0 a 1), mejor es la correlación. Por lo tanto, la gráfica con mejor relación es la comentada (*"JND 1 KHz – Media"*).

- Por el contrario, si nos fijamos en las dos últimas gráficas (T30 1 KHz y T30 MID) de la izquierda, la relación lineal es descendente: a mayor JND, menor diferenciación subjetiva. Estas gráficas corresponden a los valores de JND del tiempo de reverberación MID y a 1 KHz. Por lo tanto, no hay una relación entre las diferencias de los tiempos de reverberación de las respuestas impulsivas, a que estas diferencias se perciban como tal subjetivamente.
- Teniendo en cuenta los dos puntos anteriores, para evaluar la relación entre JND y las diferencias subjetivas del test de escucha, se van a analizar las gráficas de correlación con los valores de JND de *"Promedio"*, *"1 KHz"* y *"MID"*, y no las comentadas en el segundo punto.
- Con respecto las gráficas de correlación entre valores de JND y la desviación típica de los resultados de la diferenciación del test de escucha no hay un vínculo directo entre la desviación típica de las diferencias y los valores de JND, aunque en la primera gráfica (*"JND Promedio – Desviación típica"*) sí que haya una relación lineal ascendente. En la gráfica de *"JND 1 KHz – Desviación típica"*, que es en la gráfica donde con respecto al promedio tenía la mejor relación, la línea de tendencia es plana, sin que tenga relación directa el JND con la desviación típica. Es decir, que los resultados de diferenciación subjetiva tengan menos desviación (estén más concentrados y menos dispersos) no tiene por qué ir relacionado con que los valores de JND (diferenciación objetiva) de esas respuestas impulsivas evaluadas sean mayores o menores. Para el resto de análisis que se realicen con las correlaciones tampoco se evaluarán la relación con la desviación típica.

Después de analizar estas correlaciones, se van a evaluar las mismas correlaciones, pero separando los resultados de la diferenciación del test de escucha con respecto a las auralizaciones generadas con un audio u otro. Así se podrá estudiar cómo influye el tipo de audio de la auralización para que los oyentes perciban mejor o peor las diferencias. En las gráficas de la Figura 39, Figura 40 y Figura 41 se exponen las correlaciones entre los valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la

diferenciación subjetiva del test de escucha con cada uno de los audios con los que se han generado las auralizaciones.

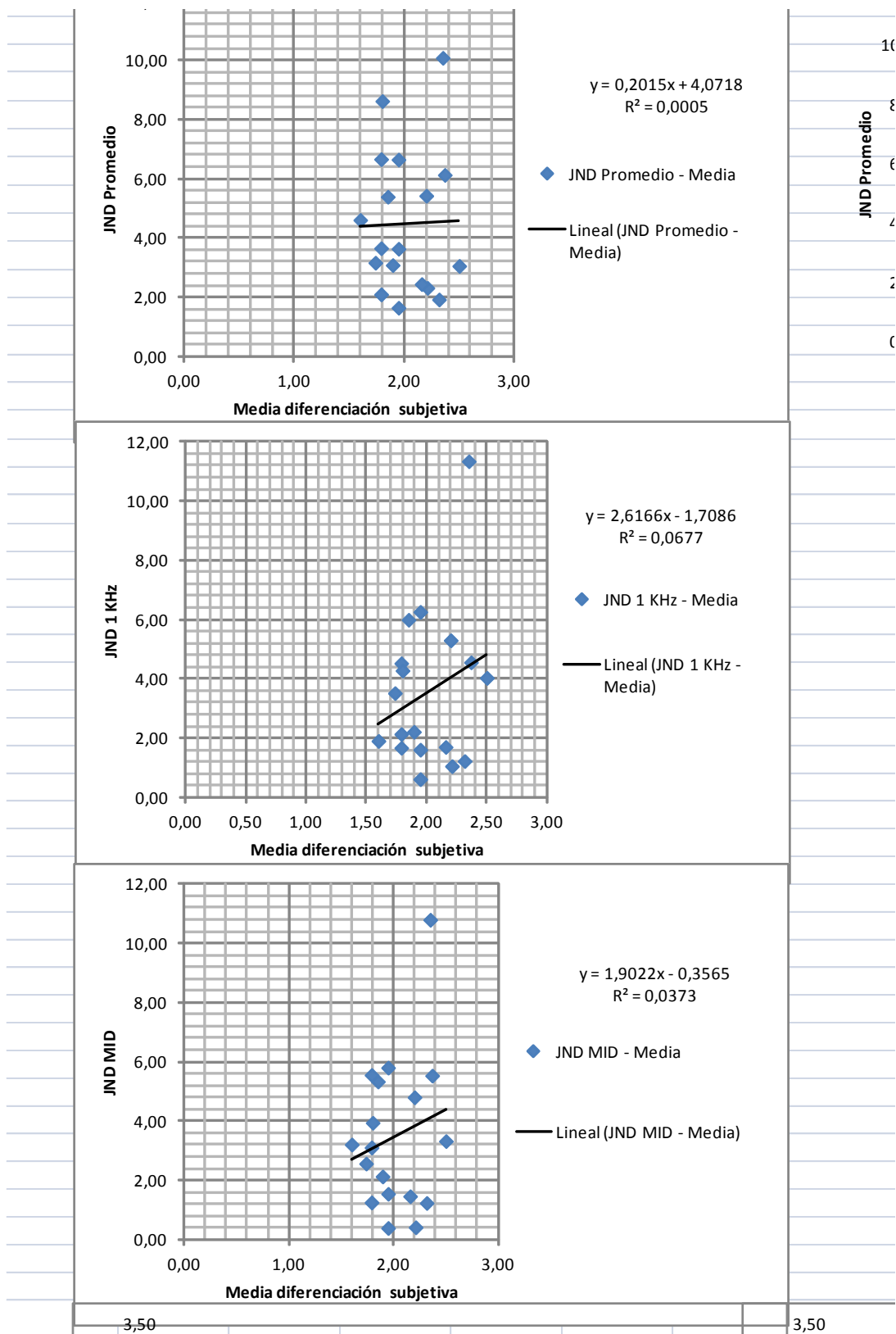


Figura 39. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva con el audio 1 del test de escucha

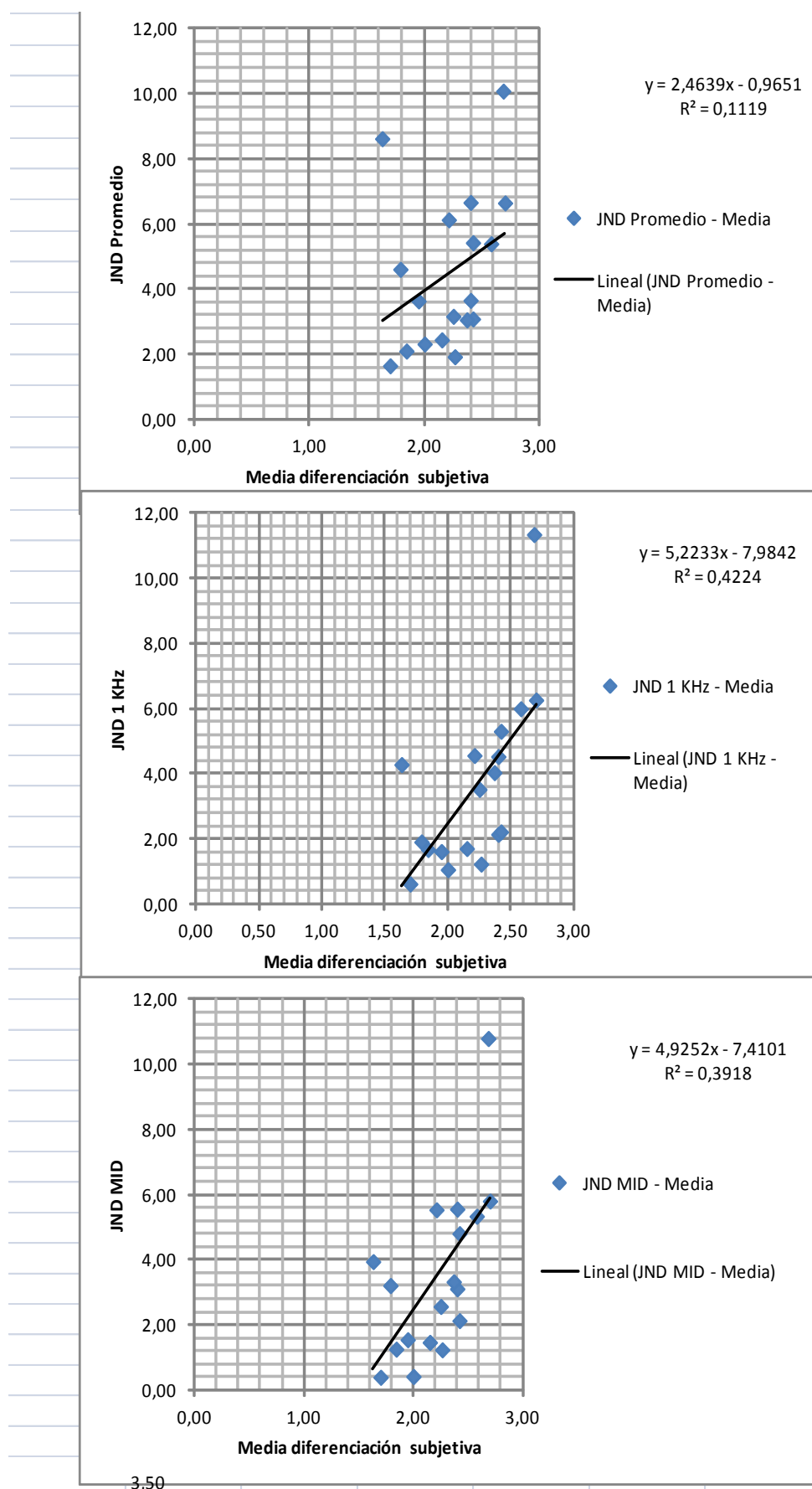


Figura 40. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva con el audio 2 del test de escucha

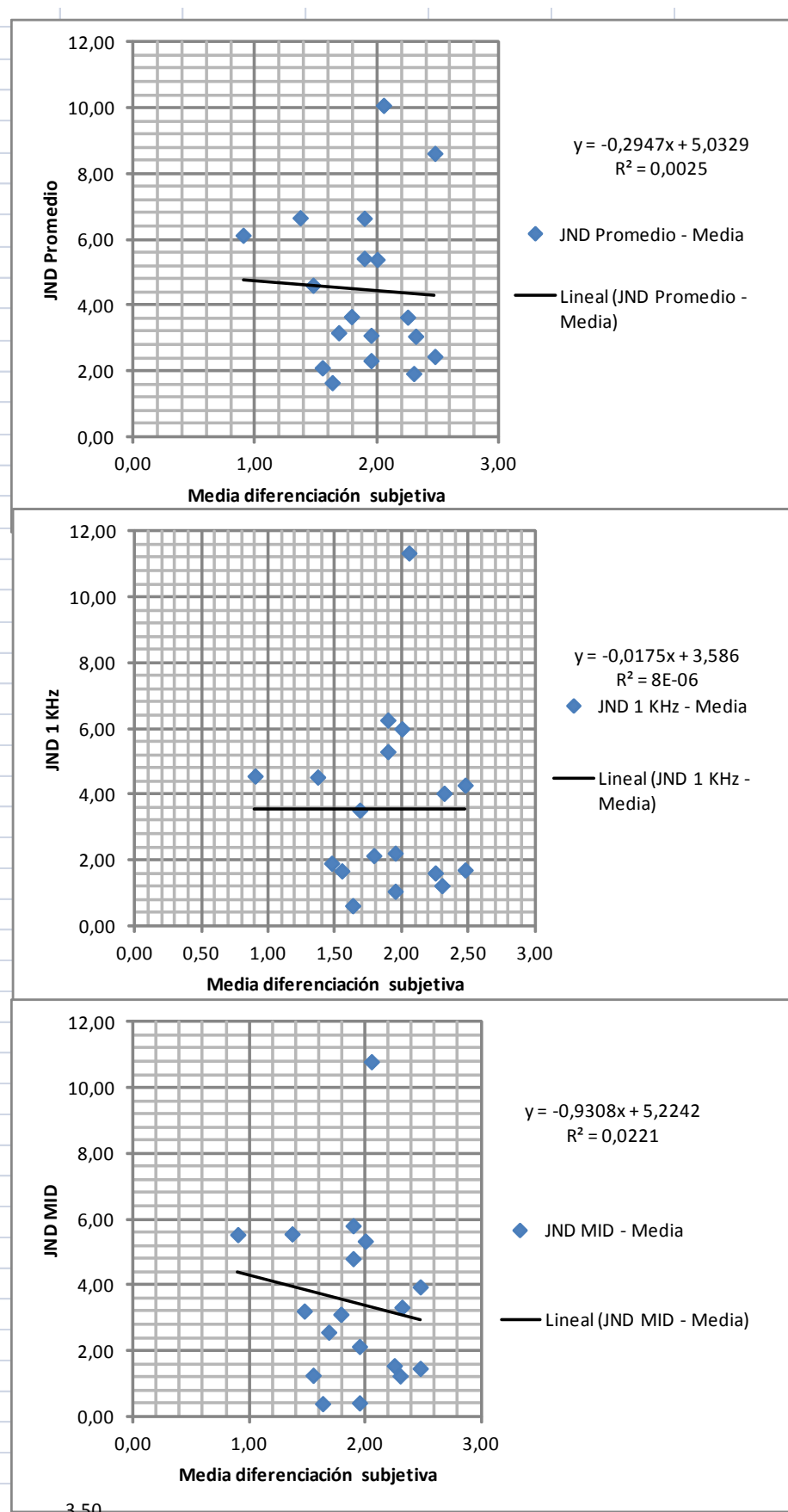


Figura 41. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva con el audio 3 del test de escucha

De estas gráficas, después de analizarlas, se pueden extraer las siguientes conclusiones con respecto a cada audio:

Audio 1. Las gráficas de la correlación tienen una relación lineal ascendente: a mayor valor de JND, mayor diferenciación subjetiva. Las gráficas “*JND 1 KHz – Media*” y “*JND MID – Media*” tienen la correlación lineal con mayor pendiente que la de “*JND Promedio – Media*”. Si nos fijamos en la de “*JND 1 KHz – Media*” el parámetro R^2 es mayor. Por lo tanto, la gráfica con mejor relación es la comentada (“*JND 1 KHz – Media*”).

Audio 2. Los resultados con este audio tienen unas correlaciones lineales con mayor pendiente y unos valores de R^2 más elevados que las del promedio con todos los audios (Figura 37). Como ya sucedía en la gráfica anterior, los resultados con mejor relación se obtienen al comparar “*JND 1 KHz – Media*”. Los resultados con este audio son bastante buenos a nivel de relación entre la diferenciación objetiva y subjetiva. Las auralizaciones que se han generado con el audio 2 (palmadas) han dado lugar a que en el test de escucha se distingan mejor las diferencias entre pistas, en relación con los valores de JND. A mayores valores de JND, los oyentes han percibido más diferencias entre las pistas auralizadas.

Audio 3. Las gráficas de la correlación con el audio 3 (música) no tienen una relación lineal ascendente, son prácticamente planas. La gráfica “*JND 1 KHz – Media*” parece un poco más coherente que las otras dos, pero aún así no se distingue que llegue a tener una tendencia de correlación lineal ascendente. Con este audio 3, las diferencias que se han percibido entre las auralizaciones del test de escucha no tenían ninguna relación con los valores de JND.

De estos resultados se puede extraer que la mejor relación entre diferenciación objetiva (JND) y subjetiva (test de escucha) se ha obtenido con las auralizaciones generadas con el audio 2 (palmadas). Con el audio 1 (voz hablada), los resultados tienen menor correlación pero aún así guardan relación entre ellos. Por el contrario, las pistas auralizadas con el audio 3 (música) no guardan ninguna relación con los valores de JND.

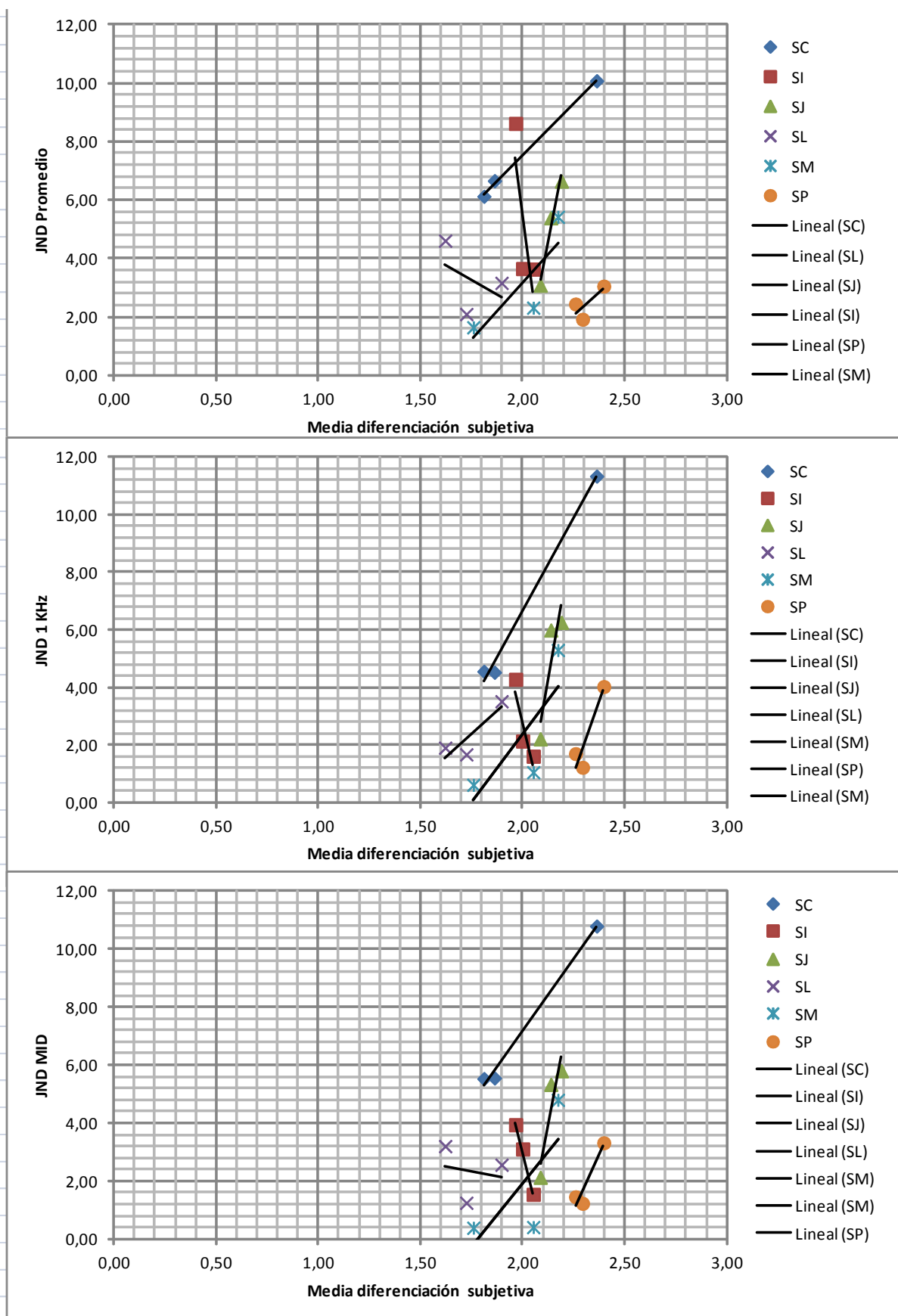


Figura 42. Correlaciones entre valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva del test de escucha para cada recinto

Después de ver las correlaciones con respecto a los audios con los que se generaron las auralizaciones, se va a proceder a realizar el mismo análisis pero evaluando los resultados de cada recinto por separado.

En la Figura 42 se han representado las correlaciones entre los valores de JND (Promedio, 1 KHz y MID) y la media de la diferenciación subjetiva del test de escucha para cada recinto (cada uno tiene una leyenda distinto y una línea de tendencia).

La mejor relación entre la diferenciación objetiva y subjetiva se produce en la Iglesia de San Cebrián de Mazote (SC). Los resultados tienen una línea de tendencia ascendente y un valor de R^2 cercano a la unidad. Se considera que en este recinto los resultados que se han generado son los mejores teniendo en cuenta la concordancia en la diferenciación subjetiva y objetiva de las respuestas impulsivas.

También han sido satisfactorios en este aspecto los resultados de las Iglesias de San Juan de Baños (SJ), Santa María de Melque (SM) y San Pedro de la Nave (SP). Las líneas de tendencia son ascendentes y guardan una buena relación de correlación. Santa María de Melque tiene valores de R^2 algo peores que los otros dos recintos, pero se considera un resultado coherente.

Por el contrario, los resultados de las Iglesias de Santo Domingo de Silos (SI) y Santa Lucía del Trampal (SL) tienen peor relación entre la diferenciación objetiva y subjetiva. La línea de tendencia es descendente, sobre todo en SI. En este recinto los resultados son los peores teniendo en cuenta la concordancia en la diferenciación subjetiva y objetiva de las respuestas impulsivas. Esto puede ser debido a que la Iglesia de Santo Domingo de Silos tiene un tiempo de reverberación muy elevado (mayor a 6 segundos).

6 Conclusiones

6.1. Conclusiones del presente trabajo

El objetivo principal de este trabajo ha sido la realización de una evaluación subjetiva de la concordancia entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas en diferentes recintos, comparándola con los parámetros acústicos objetivos. Esto se ha llevado a cabo y se ha cumplido con los propósitos iniciales del trabajo. En el apartado 5.9 se han evaluado la correlación entre las diferencias en la evaluación subjetiva y las diferencias entre parámetros acústicos objetivos (JND).

Además de este objetivo principal, se pretendían lograr otros objetivos más específicos que se han cumplido también y se indican a continuación:

- Crear respuestas impulsivas simuladas mediante un software de modelado acústico de salas, y generar las auralizaciones medidas y simuladas. Se obtuvieron respuestas impulsivas en 6 recintos distintos, eligiendo posteriormente las señales de tres puntos para cada Iglesia. Se desarrolló una herramienta para que con estas respuestas impulsivas, al procesarlas con tres audios grabados en cámara anecoica, se obtuviesen las pistas auralizadas correspondientes.
- Desarrollar herramienta de software que automatice el proceso de evaluación subjetiva. A partir del software WHISPER se implementó una herramienta para realizar la evaluación subjetiva que se pretendía, desarrollando el test de escucha que se consideraba óptimo para el estudio.
- Realizar evaluación subjetiva entre respuestas impulsivas simuladas y medidas. Se llevo a cabo el estudio de las auralizaciones con el test de escucha desarrollado en el que participaron 58 oyentes.
- Concordancia entre comparación objetiva (JND) y comparación subjetiva. Se ha realizado una evaluación de la relación entre los resultados del test de escucha, con respecto los valores de las diferencias entre parámetros objetivos (JND).
- Obtener conclusiones de la evaluación subjetiva. En este apartado se explicarán las conclusiones finales de la evaluación subjetiva y del presente trabajo.

Tras indicar los objetivos que se propusieron al comienzo del Trabajo y su cumplimiento, se pasará a evaluar las conclusiones finales de los resultados.

- Analizando la segunda parte del test de escucha, en la que se hacía una diferenciación por parámetros acústicos, no se ha obtenido ninguna relación entre las diferencias percibidas con respecto la reverberación y las diferencias del tiempo de reverberación (T30) de las respuestas impulsivas medidas y simuladas de cada punto. Por este motivo, se decidió no tener en cuenta los resultados de la segunda parte del test a la hora de valorar la evaluación subjetiva.
- Los resultados del test de escucha han sido evaluados con el método de Grubbs y no se ha obtenido ningún valor aberrante. Se han dado todos los resultados por válidos. El análisis estadístico que se ha llevado a cabo con los resultados ha sido básico. En el futuro se podría profundizar en este análisis realizando métodos más completos como ANOVA.
- De los 58 oyentes que han participado en el test de escucha, ninguno ha errado al diferenciar entre pistas auralizadas distintas. No se ha dado ningún caso en el que auralizaciones iguales, se hayan considerado distintas. Lo que sí ha sucedido es que pistas distintas se hayan considerado iguales. En 23 triadas hubo oyentes (13) que no supieron diferenciar cuál de las tres pistas sonaba diferente, ya que percibieron que las tres eran iguales. Esto se debe a que consideraron que la diferencia entre ellas no era perceptible. Por lo tanto, no es una respuesta fallida, sino que la diferencia no era percibida. Para la mayoría de los casos evaluados, los oyentes apreciaban claramente la diferencias entre las pistas auralizadas con respuestas impulsivas simuladas y medidas.

Con respecto a los audios con los que se han generado las auralizaciones: el audio 2 (palmadas) ha resultado más fácil de distinguir las pistas que eran diferentes que con el audio 3 (música). Con las palmadas sólo ha habido una vez en el que el oyente no percibiera la diferencia, en cambio, con la música en 14 ocasiones un oyente no ha apreciado diferencias entre las señales.

- Los oyentes han percibido la diferenciación de forma distinta. Al ser subjetivo, las mismas triadas para distintos sujetos se han diferenciado (en promedio) con valores muy distintos; 1,4 el promedio más bajo, 2,9 el más alto, sobre 3. De esto se puede decir que no se puede realizar un análisis concreto, sujeto a sujeto de los resultados; ya que cada sujeto percibe y califica distinto la misma diferencia. Pero al realizar el

test de escucha a un número considerable de oyentes, 58, el promedio de todos sí que dará buena cuenta de cómo es la diferenciación subjetiva de las auralizaciones entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas.

- Los promedios (y desviaciones típicas) de las diferenciaciones de las triadas en las tres sesiones han sido muy similares (2,01, 2,04 y 2,05). En cada sesión han participado sujetos distintos y se han escuchado auralizaciones distintas, pero el promedio del conjunto da valores muy similares. Esto reafirma lo comentado en el punto anterior.
- Promediando los resultados de las tres sesiones, las medias de la diferenciación más bajas pertenecen a los puntos de la Iglesia de Santa Lucía del Trampal. Por el contrario, los puntos con mayores diferencias pertenecen a la Iglesia de San Pedro de la Nave.
- La auralización del audio 3 con las respuestas impulsivas del punto SCF1M11 de la Iglesia de San Cebrián de Mazote tiene el valor promedio de diferencias menor (0,9) de todas las triadas que se han evaluado.
- Los resultados de diferenciación con respecto los audios con los que se han auralizado las pistas, sí que son diferentes. El promedio de las diferencias de las auralizaciones generadas con el audio 1 (voz hablada), es de 2,01; con el audio 2 (palmadas), es de 2,21; y con el audio 3 (música), es de 1,89. Con el audio más impulsivo (palmadas) se perciben mayores diferencias entre las auralizaciones generadas con respuestas impulsivas medidas y simuladas. Por el contrario con un audio musical, con mayor rango del espectro frecuencial, las diferencias son menores.
- Al evaluar la concordancia entre la diferenciación subjetiva con respecto la diferenciación objetiva, se ha extraído que el valor de JND que guarda más relación con la evaluación subjetiva es el “*JND 1 KHz*”. Este valor es el promedio de los valores de JND de las diferencias entre todos los parámetros acústicos objetivos a 1 KHz, entre las respuestas impulsivas medidas y simuladas. También son aceptables las correlaciones con respecto el “*JND MID*” donde la tendencia lineal también es ascendente, aunque en este el valor de R^2 sea menor. Los valores de JND que no guardan ningún tipo de concordancia con la diferenciación del test de escucha son los JND obtenidos del tiempo de reverberación (“*JND T30 1 KHz*” y “*JND T30 MID*”), que tienen una

relación lineal descendente. Cuando hay una mayor diferencia de reverberación en las respuestas impulsivas medidas y simuladas, la diferencia subjetiva entre ellas es menor (se percibe menos diferencia entre las pistas auralizadas).

- Si dicha concordancia se evalúa con respecto los audios con los que se han generado las auralizaciones, se obtienen distintas conclusiones para cada audio. La mejor relación entre diferenciación objetiva (JND) y subjetiva (test de escucha) se ha obtenido con las auralizaciones generadas con el audio 2 (palmadas). Con el audio 1 (voz hablada), los resultados tienen menor correlación pero aún así guardan relación entre ellos. Por el contrario, las pistas auralizadas con el audio 3 (música) no guardan ninguna relación con los valores de JND. Con este audio, la tendencia lineal es descendente (a mayor diferenciación subjetiva, menor diferenciación objetiva).
- Esta misma concordancia, al evaluarla por recintos, ha dado lugar a diferentes resultados dependiendo de la Iglesia estudiada.

La mejor relación entre la diferenciación objetiva y subjetiva se produce en la Iglesia de San Cebrián de Mazote (SC), con una línea de tendencia ascendente y un valor de R^2 cercano a la unidad. También han sido satisfactorios en este aspecto los resultados de las Iglesias de San Juan de Baños (SJ), Santa María de Melque (SM) y San Pedro de la Nave (SP). Las líneas de tendencia son ascendentes y guardan una correlación aceptable.

Por el contrario, los resultados de las Iglesias de Santo Domingo de Silos (SI) y Santa Lucía del Trampal (SL) tienen peor relación entre la diferenciación objetiva y subjetiva. La línea de tendencia es descendente, sobre todo en SI, donde los resultados de correlación son peores. Esto puede ser debido a que esta Iglesia tiene un tiempo de reverberación muy elevado (más de 6 segundos).

Los resultados obtenidos y las conclusiones que se han extraído del presente trabajo son satisfactorios. Se puede continuar con la línea del trabajo realizado mejorando algunos aspectos o para obtener más conclusiones. Pero eso ya quedaría para futuros trabajos que se quieran llevar a cabo a raíz de este Proyecto.

6.2. Líneas futuras de trabajo

Para posibles mejoras de los resultados del presente trabajo, se podrían realizar los siguientes cambios:

- En este proyecto, se decidió que como las respuestas impulsivas medidas no estaban filtradas por la función HRTF, ni tenían ninguna compensación por auriculares, las respuestas impulsivas simuladas tampoco lo estaban (filtradas y con compensación por auriculares). Se pretendía que las dos señales a auralizar (simulación y medición) tuviesen las mismas características y se generasen las respuestas impulsivas utilizando el mismo tratamiento, así al realizar la evaluación subjetiva con las auralizaciones, los resultados no se viesan influidos por estar filtradas unas señales y otras no.

En vez de haber actuado así, se podría haber realizado el proceso al contrario. Es decir, haber generado las respuestas impulsivas simuladas filtradas con la función HRTF (“Kemar”) y con compensación de auriculares, tratando las respuestas impulsivas medidas de la misma forma. Habría que desarrollar una herramienta que desarrolle el tratamiento para filtrar con la misma función HRTF y realice la compensación de auriculares a las señales medidas.

Con estos cambios, habría que evaluar los resultados y estudiar si mejorarían los obtenidos en el presente trabajo.

- Modificar la interfaz del test de escucha para modificar los datos que se puedan obtener de la evaluación subjetiva. Se podría evaluar la diferenciación en vez de en cuatro ítems (nada, poco, moderado o nada), en algún ítems más o, asignándole un valor de 0 a 1 (o de 0 a 100 %) con un deslizador.

No sólo quedaría abierto la opción de modificar la forma de evaluar la evaluación, sino también de lo que se pregunta en el test de escucha y si se desea obtener otro tipo de información. Se podría desarrollar la herramienta del test de escucha de otra forma que se pueda considerar mejor. Así se pueden comparar los resultados y las conclusiones que se obtengan de esta nueva evaluación subjetiva, con los obtenidos en el presente trabajo.

- Las auralizaciones que se generen, se pueden convolucionar a partir de otros audios para evaluar que conclusiones se obtienen con estos. Si se

quiere probar mejor la diferenciación, ya se ha visto en este trabajo que el audio que mejor ha funcionado son las palmadas (audio 2), que es un sonido más impulsivo.

- Realizar un análisis estadístico más profundo usando métodos como ANOVA y MANOVA con los resultados del test de escucha para poder mejorar la evaluación subjetiva y extraer más conclusiones del experimento.
- Realizar otro tipo de análisis de la evaluación objetiva para poder evaluar, desde otro punto de vista, la relación de éste con la evaluación subjetiva experimentada en este trabajo.

7

Bibliografía

Referencias bibliográficas.

- [1] R. Heinz. Binaural room simulation based on an image source model with addition of statistical methods to include the diffuse sound scattering of walls and to predict the reverberant tail. *Applied Acoustics*, 38 (2-4, Special Issue on Computer Modeling and Auralization of Sound Fields in Rooms):145–159, 1993.
- [2] H. Kuttruff. *Room Acoustics*. Elsevier Science Publishers, Essex, England, 3rd edition, 1991.
- [3] M. Vorländer. Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm. *J. Acoust. Soc. Am.*, 86(1):172–178, 1989.
- [4] B.-I. Dalenbäck. *A New Model for Room Acoustic Prediction and Auralization*. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1995.
- [5] M. Kleiner, B.-I. Dalenbäck, and U.P. Svensson. Auralization: Acoustical rendering. In *Proc. 2nd Int. Conf. on Acoustics and Musical Research (CIARM'95)*, pages 23–30, Ferrara, Italy, May 19-21 1995.
- [6] G. Naylor. ODEON—another hybrid room acoustical model. *Applied Acoustics*, 38(2-4, Special Issue on Computer Modeling and Auralization of Sound Fields in Rooms):131–143, 1993.
- [7] A. Farina. Auralization software for the evaluation of the results obtained by pyramid tracing code: Results of subjective listening tests. In *Proc. 15th Int. Congr. Acoust. (ICA'95)*, pages 441–444, Trondheim, Norway, June 1995.
- [8] T.A. Funkhouser, P. Min, and I. Carlbom. Real-time acoustic modeling for distributed virtual environments. In *SIGGRAPH 99 Conference Proceedings*. ACM SIGGRAPH, July 1999.
- [9] N. Tsingos. *Simulation de champs sonores de haute qualite pour des applications graphiques interactives*. PhD thesis, Universite Joseph Fourier, Grenoble I, Dec. 1998.
- [10] W.G. Gardner. *Virtual acoustic room*. Master's thesis, MIT, 1992.
- [11] W.G. Gardner. *3-D Audio Using Loudspeakers*. PhD thesis, MIT Media Lab, Sept. 1997.
- [12] W. Ahnert and R. Feistel. EARS auralization software. *J. Audio Eng. Soc.*, 41(11):894–904, Nov. 1993.

-
- [13] W. Ahnert and R. Feistel. Real time auralization with EASE 3.0. In Proc. of the Joint 137th Meeting of ASA and 2nd Convention of EAA (Forum Acusticum), March 14-19 1999. paper no. 3pAAa4.
- [14] J. Blauert. Spatial Hearing. The psychophysics of human sound localization. MIT Press, Cambridge, MA, 2nd edition, 1997.
- [15] H. Møller, D. Hammershøi, C.B. Jensen, and M.F. Sørensen. Evaluation of artificial heads in listening tests. J. Audio Eng. Soc., 47(3):83–100, 1999.
- [16] J. Sandvad. Dynamic aspects of auditory virtual environments. In the 100th Audio Engineering Society (AES) Convention, Copenhagen, Denmark, May 11-14 1996. preprint no. 4226.
- [17] Y. Kahana, P.A. Nelson, O. Kirkeby, and H. Hamada. Objective and subjective assessment of systems for the production of virtual acoustic images for multiple listeners. In the 103rd Audio Engineering Society (AES) Convention, New York, NY, Sept. 26-29 1997. preprint no. 4573.
- [18] P.A. Nelson, F. Orduna-Bustamante, D. Engler, and H. Hamada. Experiments on a system for the synthesis of virtual acoustic sources. J. Audio Eng. Soc., 44:990–1007, May 1996.
- [19] S. Foster, E.M. Wenzel, and R. Taylor. Real-time synthesis of complex acoustic environments. In Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA'91), New Paltz, NY, 1991.
- [20] E.M. Wenzel. Analysis of the role of update rate and system latency in interactive virtual acoustic environments. In the 103rd Audio Engineering Society (AES) Convention, New York, Sept. 26-29 1997. preprint no. 4633.
- [21] E.M. Wenzel, J.D. Miller, and J.S. Abel. Sound lab: A real-time, software-based system for the study of spatial hearing. In the 108th Audio Engineering Society (AES) Convention, Paris, France, Feb. 19-22 2000. preprint no. 5140.
- [22] E.M. Wenzel, P.K. Stone, S.S. Fisher, and S.H. Foster. A system for three dimensional acoustic 'visualization' in a virtual environment workstation. In Proceedings of the First IEEE Conference on Visualization, pages 329 –337, 1990.
- [23] D.R. Begault. 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. Academic Press, Cambridge, MA, 1994.

-
- [24] J.-M. Jot. Etude et réalisation d'un spatialisateur de sons par modèles physique et perceptifs. PhD thesis, l'Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications, Télécom Paris 92 E 019, Sept. 1992.
- [25] J.-M. Jot. Real-time spatial processing of sounds for music, multimedia and interactive human-computer interfaces. *Multimedia Systems, Special Issue on Audio and Multimedia*, 7(1):55–69, 1999.
- [26] R.S. Pellegrini. A virtual reference listening room as an application of auditory virtual environments. PhD thesis, Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr- Universität, Bochum, Germany, 2001.
- [27] U. Horbach, A. Karamustafaoglu, R. Pellegrini, P. Mackensen, and G. Theile. Design and applications of a data-based auralization system for surround sound. In the 106th Audio Engineering Society (AES) Convention, Munich, Germany, May 8-11 1999. preprint no. 4976
- [28] P. Astheimer. Acoustic simulation for visualization and virtual reality. In R. Veltkamp, editor, *Eurographics State-of-the-Art reports*, pages 1–23, Maastricht, Netherlands, Sept. 1995.
- [29] S. Foster, E.M. Wenzel, and R. Taylor. Real-time synthesis of complex acoustic environments. In *Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA'91)*, New Paltz, NY, 1991.
- [30] A. Reilly and D. McGrath. Convolution processing for realistic reverberation. In the 98th Audio Engineering Society (AES) Convention, Paris, France, 1995. preprint no. 3977.
- [31] Tapio Lokki, "Physically-based auralization", Helsinki University of Technology. Publications in Telecommunications Software and Multimedia. Espoo (2002).
- [32] J. Borish. Electronic simulation of auditorium acoustics. Technical Report STANM-18, Stanford University, Dept. of Music, CCRMA, Stanford, California, May 1984.
- [33] W. Pompetzki. Psychoakustische Verifikation von Computermodellen zur binauralen Raumsimulation. PhD thesis, Ruhr-Universität Bochum, Verlag Shaker, Aachen, 1993.
- [34] Tapio Lokki, Hanna Järveläinen, "Subjective evaluation of auralization of physics-based room acoustics modelling", Helsinki University of Technology, (2001).
- [35] Recomendación ITU-R-BS1116-1. Métodos para la evaluación subjetiva de pequeñas degradaciones en los sistemas de audio incluyendo los sistemas de sonido multicanal

-
- [36] Recomendación ITU-R BS.1534-1. Method for the subjective assessment of intermediate quality level of coding systems
- [37] Recomendación P.800. Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión
- [38] ITU-R BS 1284-1 Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido
- [39] Recomendación R-68. Niveau d'alignement dans les équipements numériques de production du son ainsi que dans les magnétoscopes numériques. Unión Europea de Radiodifusión, Ginebra, Suiza.
- [40] Recomendación UIT-R BS.645. Señales de prueba y métodos de medida para los enlaces radiofónicos internacionales
- [41] ISO-3382: Acoustics - measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- [42] Tapio Lokki, Lauri Savioja, "Evaluation of auralization results", Helsinki University of Technology, (2005).
- [43] Larsson, Pontus; Västfjäll, Daniel; Kleiner, Mendel (2003). Auditory-visual interaction in real and virtual rooms. Chalmers University of Technology
- [44] Egan, M. D. (1998). Architectural acoustics. New York, NY: McGraw-Hill, Inc.
- [45] Ando, Y. (1998). Architectural acoustics. New York, NY: Springer-Verlag.
- [46] Hidaka, T., & Beranek, L. L. (2000). Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas. *Journal of Acoustical Society of America*, 107(1), 368-383.
- [47] Lily M. Wang *, Michelle C. Vigeant (2006). Evaluations of output from room acoustic computer modeling and auralization due to different sound source directionalities. Architectural Engineering Program, University of Nebraska
- [48] Sławomir Zielinski, Francis Rumsey (2008). On Some Biases Encountered in Modern Audio Quality Listening Tests—A Review. University of Surrey, Guildford.
- [49] S.Paul (2008). "Assessment of simulation quality of three different auralization procedures. University of Santa Catarina.
- [50] F. Martolleta, "The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces", Dipartimento di Architettura e Urbanistica, Politecnico di Bari, (2010)

-
- [51] Francesco Martellotta, "Just noticeable difference of clarity measures", Dipartimento di Architettura e Urbanistica, Politecnico di Bari, (2010).
- [52] P. Malecki, J. Wiciak and J. Wierzbicki (2012). Subjective Assessment of the Multi-Channel Auralizations. AGH University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics. Cracovia (Polonia).
- [53] ITU-R BS.1284-1, Radiocommunication Assembly, "Recommendation ITU-R BS.1284-1 General methods for the subjective assessment of sound quality". (2002)
- [54] Bork, I. (2000). A Comparison of Room Simulation Software – The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation. *Acta Acústica* 86, 943-956.
- [55] Bradley, J. S. (1986). Predictors of speech intelligibility in rooms. *J. Acoust. Soc. Am.* 80, 837-845.
- [56] Michael Vorländer, "Auralization. Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality" Springer (2008).
- [57] M. Förster, "*Auralization in room acoustics*", Bachelor's thesis, Institute of Broadband Communications Graz University of Technology, Graz, July 2008.
- [58] Kleiner M, Dalenbäck B-I, Svensson P (1993) Auralization – an overview. *J. Audio Eng. Soc.* 41, 861
- [59] Ana Belén Sarmiento Salgado, "Validación de software para predicción de acústica de salas y aplicación al diseño de aulas", Universidad de Vigo (2003).
- [60] Claus Lynge Christensen, "User manual software ODEON Room Acoustics Program", Industrial, Auditorium and Combined Editions, Denmark
- [61] Toni Hirvonen, "Headphones listening test methods", Helsinki University of Technology, (2002).
- [62] Jussy Hynninen, "A software-based system for listening test", Helsinki University of Technology, (2001).
- [63] Ville Pulkki, "Listening test", Department of Signal Processing and Acoustics Aalto University, (February 5, 2013).
- [64] Ingolf Bork, "A comparison of room simulation software. The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation", Physikalisch- Technische Bundesanstalt (Braunschweig, Germany), (2000).

- [65] S. Ciba. Erstellung einer Softwarebibliothek für Hörversuche - Programmkonzept und zu implementierende Testverfahren. Magisterarbeit, FG Audiokommunikation, Institut für Sprache und Kommunikation, Fakultät I, TU Berlin, 2008.
- [66] Simon Ciba, André Wlodarski, Hans-Joachim Maempel, "WhisPER- A new tool performing listening test", Audio Communication Group TU Berlin, (2009).
- [67] ITU (International Telecommunication Union). Recommendation BS.1534-1: Method for the subjective assessment of intermediate quality levels of coding systems, January 2003.
- [68] UNE 82009-2 1999. Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de medición normalizado. Junio 1999

8

Anexo

Manual de usuario del test de escucha

La herramienta que utilizamos está basada en el software WHISPER, pero con bastantes modificaciones para que el test de escucha cumpla con nuestros requisitos y realice los procesos necesarios. El manual de usuario que se describe a continuación solo recoge los procesos que se utilizan para nuestro test de escucha (el que se ha desarrollado). Si se desea utilizar el software WHISPER para otra finalidad o realizar otros tipos de test que no sea el nuestro, WHISPER tiene su propio manual de usuario [1].

Para entender mejor el manual de usuario vamos a diferenciar los dos tipos de usuarios, que como la utilidad de cada uno será diferente, se van a comentar los procedimientos por separado. Estos dos tipos son:

- Experimentador, que son las personas que utilizaran esta herramienta para realizar test de escucha a personas para realizar algún tipo de estudio. Son los que crearán, editarán y configurarán el test de escucha. Además, deberán conocer cómo funciona el test de escucha (Parte Oyente).
- Oyente, que son las personas que realizarán el test. Sólo les interesa saber cómo se utiliza la herramienta en la parte de ejecución del test, no tienen que realizar la edición y configuración (que es realizada por parte del experimentador).

EXPERIMENTADOR

Lo primero que es necesario saber es que se necesita Matlab para ejecutar la herramienta de test de escucha. Desde Matlab habrá que situarse en el directorio de la aplicación (suele ser ../whisper/whisper1.4/). Por línea de comandos de Matlab se escribirá “whisper” y se dará a enter. Con ello se ha ejecutado la aplicación. Aparecerá la pantalla inicial en Figura 43.

En esta pantalla lo primero que tendremos que hacer es dar al botón superior “test series” en el que podremos realizar lo siguiente:

- Crear un test de escucha nuevo. (“new”)
- Abrir un test de escucha ya creado. (“open”)
- Salir del test de escucha (en el caso en que hubiésemos creado o abierto uno). (“close”)

- Cerrar la aplicación. (“exit program”)

Con las dos últimas opciones no haría falta explicar nada. Lo que se va a explicar a continuación son las dos primeras opciones, la de crear y abrir un test.

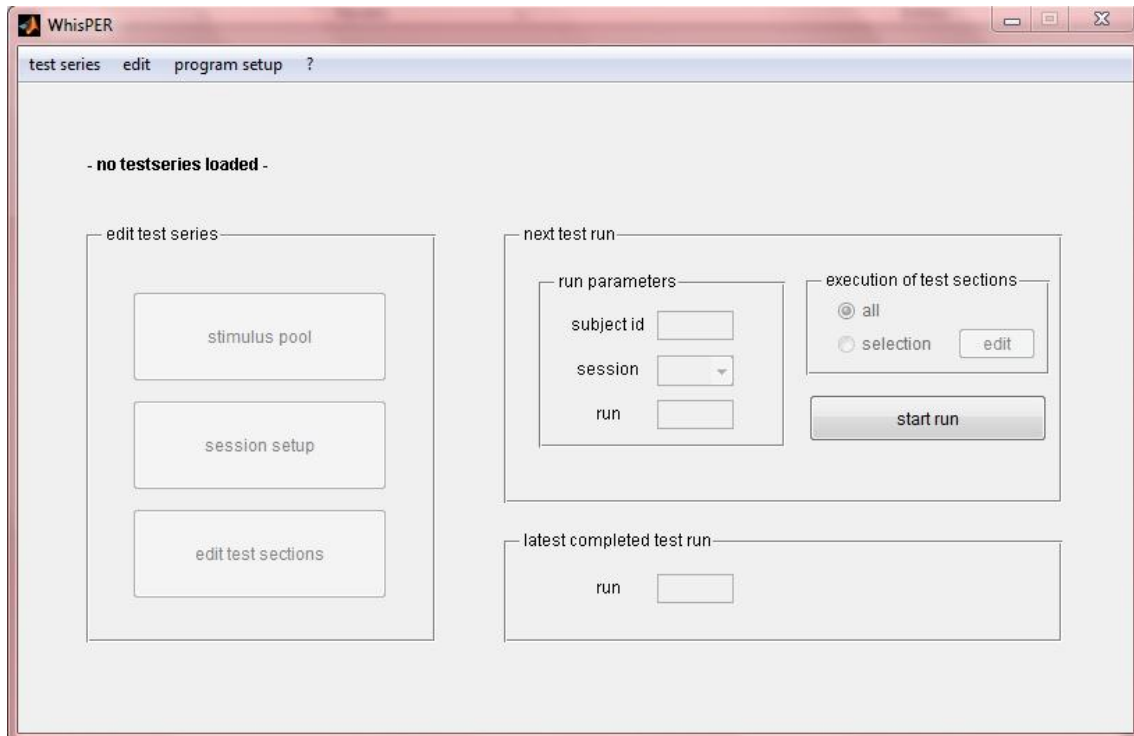


Figura 43. Pantalla inicial de aplicación. Aparece cuando se ejecuta WHISPER

1 Crear un test

Se pulsaría a “new” (después de haber pulsado “test series”) para crear el nuevo test. Aparecerá una nueva pantalla (Figura 44) en la que se introducirá el directorio dónde se creará el nuevo test, y el nombre que se le pondrá al nuevo test.



Figura 44. Pantalla para crear el nuevo test

Después se dará al botón crear (“create”) y se volverá a la pantalla inicial, ya con el nuevo test. Si se desea cancelar la creación del nuevo test se puede dar al botón “cancel”. Tras crear el test (llamado “nuevo test whisper”), aparece en la pantalla (Figura 45) tres botones que nos dan tres opciones para editar el nuevo test:

- **“stimulus pool”**: en esta opción se podrán añadir todos los estímulos (audios) que se van a utilizar en el test.
- **“session setup”**: se podrán especificar el número de sesiones de las que constará el test.
- **“edit test sections”**: se podrán editar las secciones del test. En este apartado se pueden elegir entre tres tipos de procedimientos que ofrece WHISPER (si se quiere saber, leer en [1]). En nuestro test de escucha el método que hemos desarrollado y, por tanto, el que usamos es el **“repertory grid technique”**.

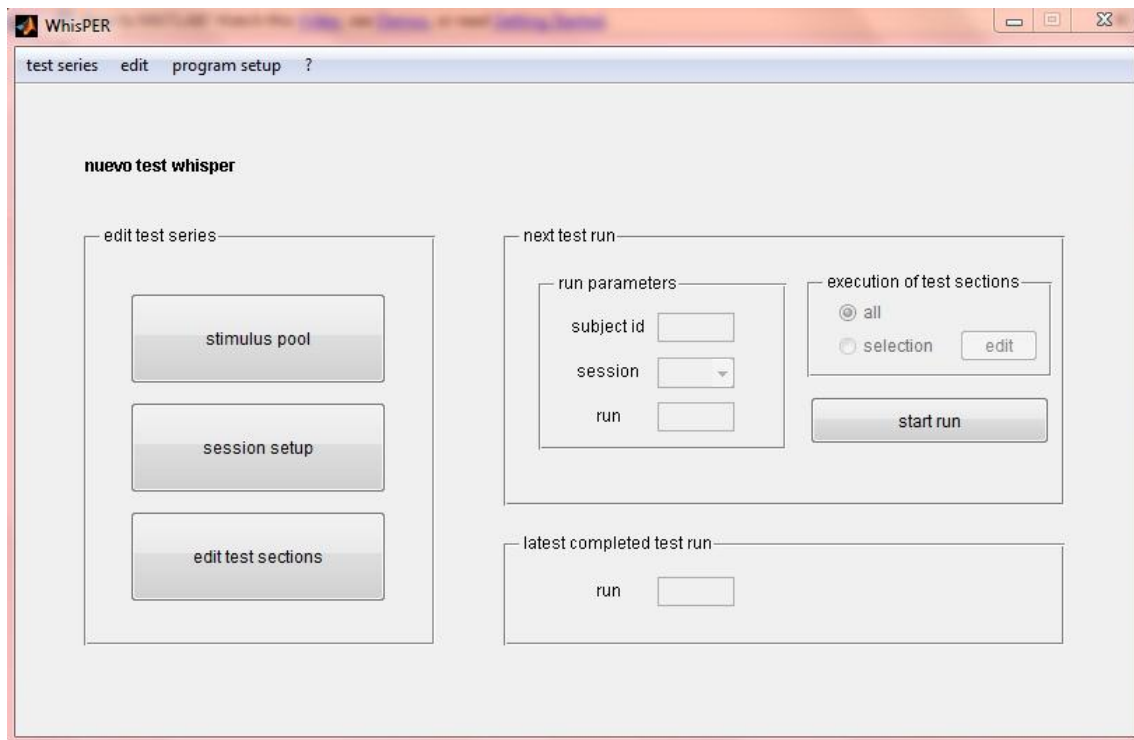


Figura 45. Pantalla del menú del test tras haber creado el nuevo test

1.1 Selección de audios a usar en el test

Tras seleccionar la opción de “stimulus pool”, aparecerá una pantalla (Figura 46) para seleccionar los audios que se quieran incluir para realizar el test de escucha. Se denomina estímulo a cada audio que se va a utilizar en el test de escucha.

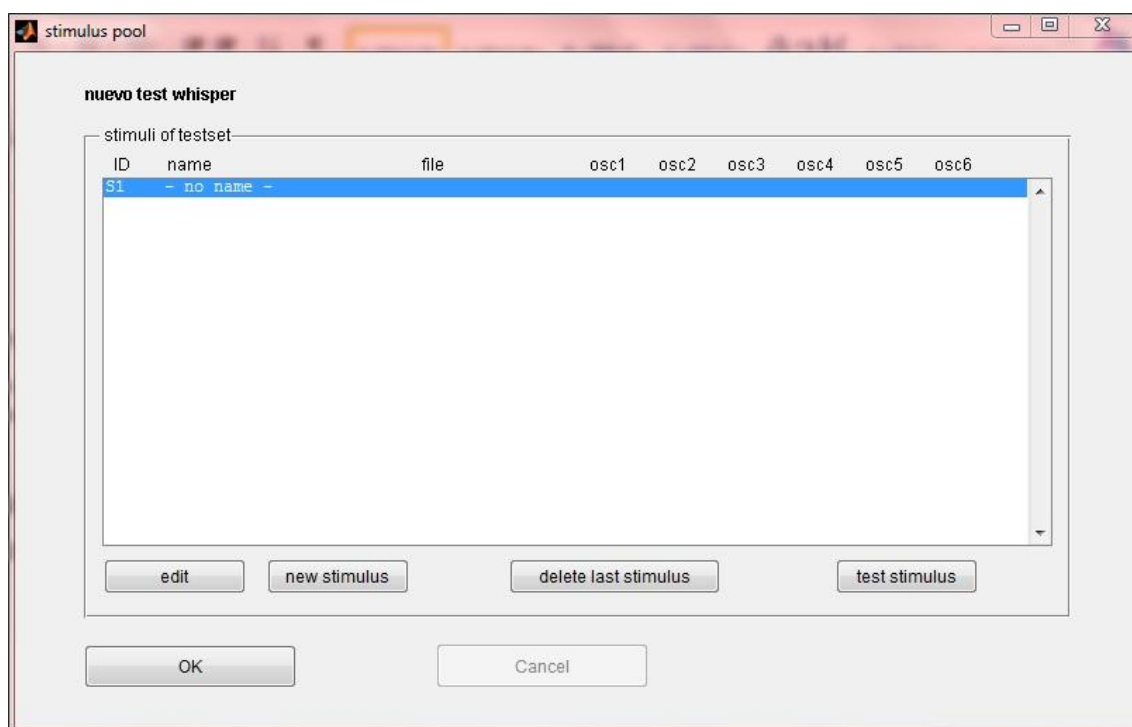


Figura 46. Pantalla de "stimulus pool"

Para incluir los estímulos lo que hay que hacer es incluir primero un estímulo ("new stimulus") y luego editarlo ("edit"). Si se quiere borrar el estímulo se dará al botón "delete last stimulus" y si se quiere escuchar el estímulo señalado se dará al botón "test stimulus". Vamos a describir ahora como se incluyen las pistas de audio como estímulos dentro del test.

Primero se crea el nuevo estímulo y se edita después. Cuando se da a editar, para añadirlo, aparece una nueva pantalla (Figura 47). En dicha pantalla se tiene que seleccionar el audio que se va a querer añadir como estímulo. Para ello, se dará a "browse" y se seleccionará la ubicación del archivo. Se puede escuchar el audio o pararlo con los botones "listen" y "stop". Al estímulo hay que darle un nombre al que se le asigna directamente una referencia, S_n , siendo n el número del estímulo dentro del test. Al dar a "OK" se habrá añadido el audio como estímulo dentro del test creado.

Este proceso se realizará sucesivamente con todos los estímulos que se quieran añadir en el test. Cuando se hayan añadido todos los estímulos, se dará a "OK" y volveremos de nuevo a la pantalla del menú principal del test.

Figura 47. Pantalla para editar el estímulo a añadir en el test

1.2 Número de sesiones de test

Cuando se da a la opción de “session setup” aparece una pantalla en la que simplemente se tendrán que introducir el número de sesiones o secciones de las que constará el test. Por ejemplo, se puede dividir el test en dos sesiones en las que cada uno tenga un tipo de audios distinto. Cuando se haya introducido se acepta dando al “OK”. Por defecto el número de sesiones es 1. Si no se modifica, el test tendrá una sesión.

1.3 Editar y configurar el test de escucha

Al seleccionar el botón “edit test sections” aparece una nueva pantalla (Figura 48), en la que se podrán editar las secciones del test. En esta apartado se pueden elegir entre tres tipos de procedimientos que ofrece WHISPER (si se quiere saber, leer

en [1]). En nuestro test de escucha el método que hemos desarrollado y, por tanto, el que usamos es el “**repertory grid technique**”.

Para hacer la configuración tendremos que añadir a la lista de secciones del test el procedimiento que usaremos, que como hemos dicho, será “**repertory grid technique**”. Para ello seleccionaremos dicho procedimiento y daremos al botón “add to list below”. Aparecerá ya dicho procedimiento en el test. Si damos al botón de “edit procedure properties (of selected test sections)” se pasará a otra pantalla en la que se llevará a cabo la edición y configuración del test.

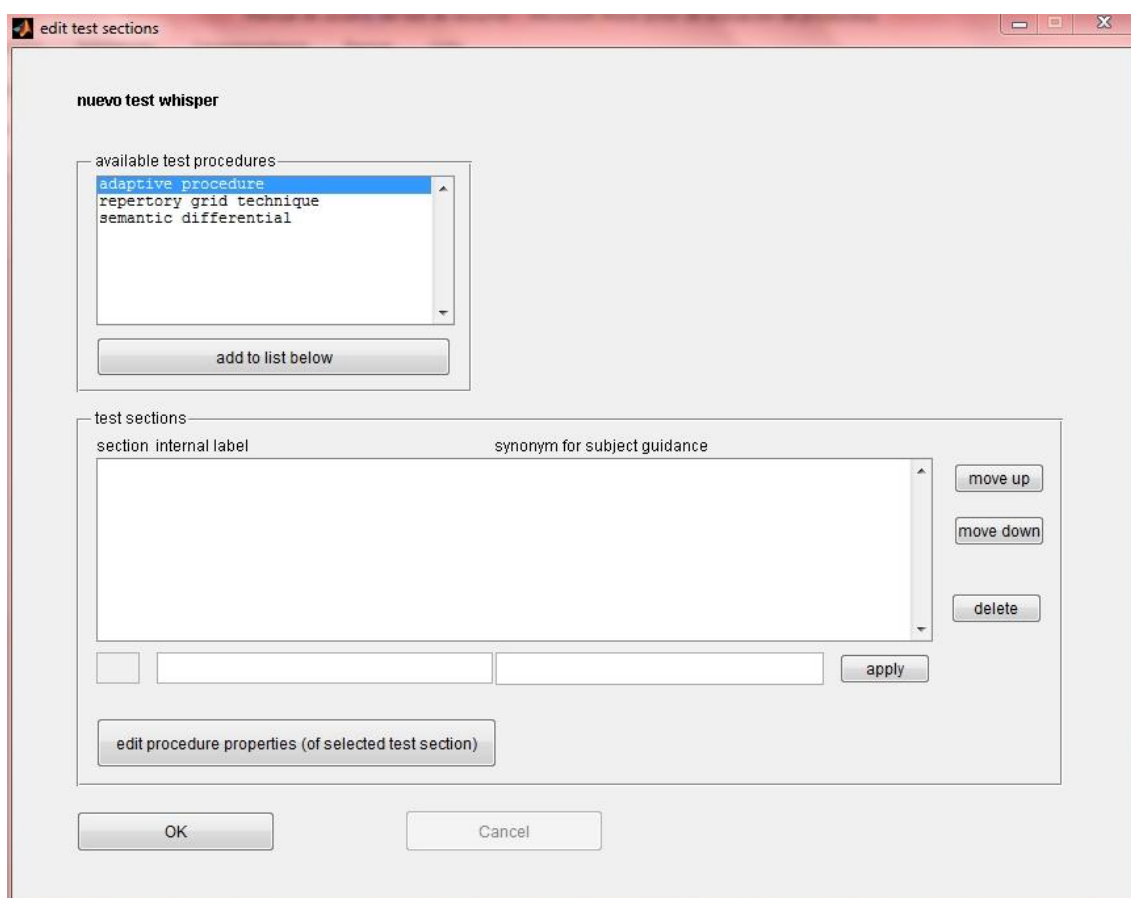


Figura 48. Pantalla para editar las sesiones del test de escucha

Edición y configuración del test de escucha

Como ya se ha comentado antes, tras dar el botón “edit procedure properties (of selected test sections)” aparecerá una nueva pantalla (Figura 49), en la que se describirá como se lleva a cabo la edición y configuración del test con el procedimiento

RGT (repertory grid technique). Es la parte más importante en la configuración del test de escucha.

Dicho procedimiento se divide en dos partes. La primera, en la que se comparará cada triada de pistas de audio y la diferenciación entre estas según atributos o propiedades. Y la segunda, en la que se evaluarán estas pistas de audio según ciertos parámetros o propiedades. En mi desarrollo del test de escucha he modificado todo esto, quedando sólo la primera parte. Así que la segunda parte y su configuración la obviemos.

NOTA: Solo se configura parte 1 ("part I"). La parte 2 ("part II") no se utiliza en el test de escucha desarrollado.

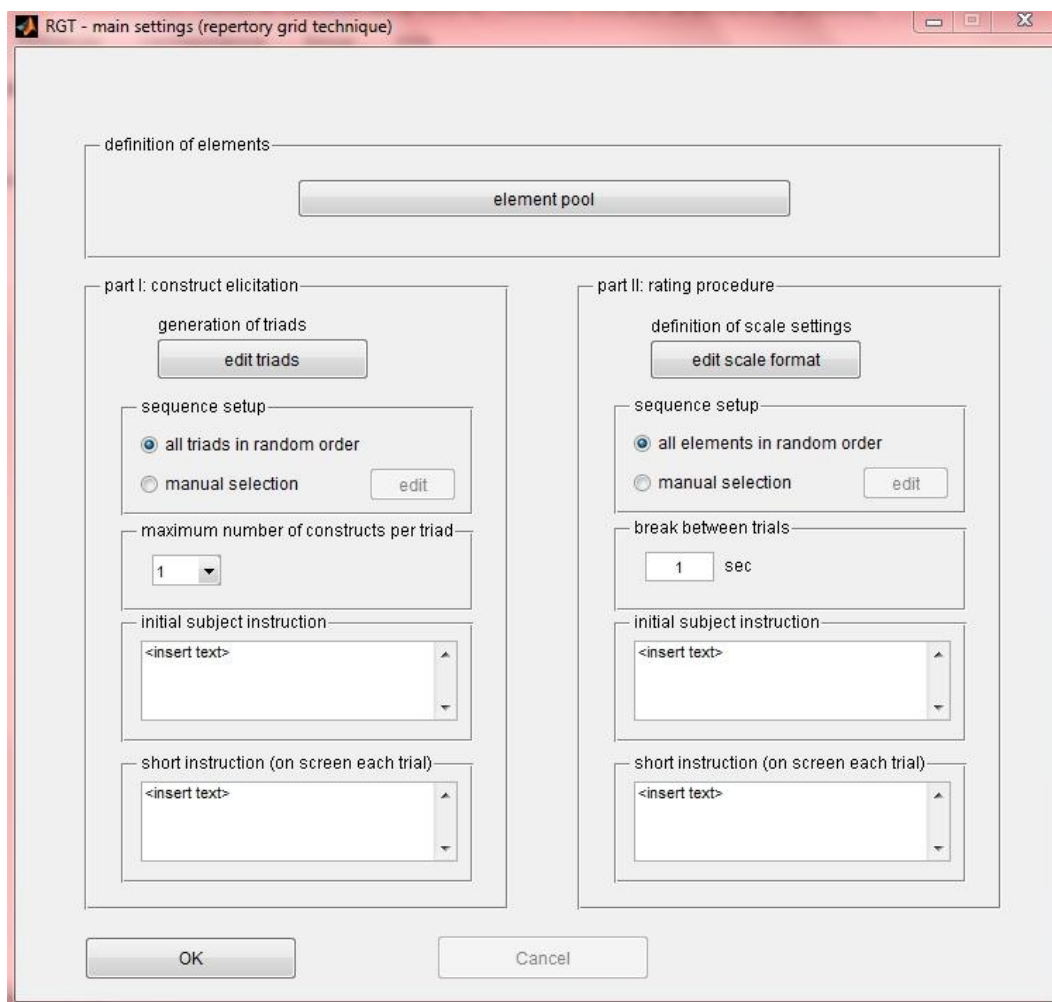


Figura 49. Pantalla para configurar el procedimiento RGT que es el que se va a usar en el test de escucha

Se va a describir las opciones que da la pantalla para la configuración del test de escucha.

- Botón “*element pool*”: al seleccionarlo se pasa a otra pantalla (Figura 50), en la que se seleccionan cuál de las pistas se van a usar en la sección que se está configurando del test. Para un mismo test, como ya se comentó antes, se puede realizar varias secciones, aunque en el test de escucha realmente sólo se usara esta sección.

Para ello se seleccionan los estímulos y se añaden a “element pool”, para que estos pasen a estar incluidos como elementos dentro de la sección del test. Se puede poner el orden entre los elementos (estímulos) que se desee, utilizando los botones “move up” o “move down” que suben o bajan el orden del elemento dentro de la lista. Además se pueden eliminar los elementos que ya no se quieran incluir en el test.

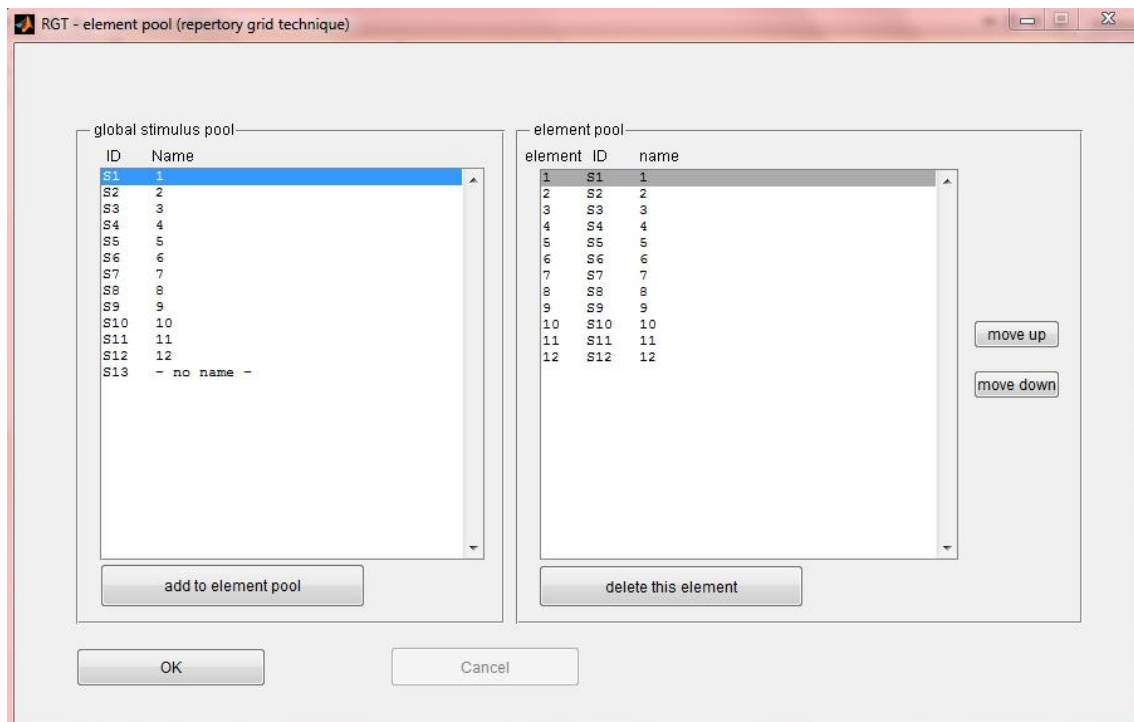


Figura 50. Pantalla de la elección de los estímulos que se van a usar en una determinada sesión del test de escucha

- Botón “*edit triads*”: cuando se seleccione dicho botón aparecerá la pantalla (Figura 51) para editar y configurar las triadas que posteriormente aparecerán en las sesiones del test. En esta pantalla lo primero que aparecerá será la lista de elementos (estímulos) creados anteriormente (si es necesario, ver punto anterior) para la serie que se está configurando para realizar el test de escucha. En esta pantalla lo que se hace es crear las triadas con los estímulos generados como elementos para el test. Hay que añadir una triada en la lista

de triadas inferior dando al botón “add triad”. Si se quieren añadir cinco triadas a la vez se puede dar al botón “add 5 triads”. Cada triada añadida se tiene que completar con los elementos (estímulos) que se quieran seleccionar de la lista de arriba. Por cada triada deben seleccionarse un par de elementos, uno de ellos repetido. El orden es indistinto. El elemento seleccionado como 1, se reproducirá luego en el test de escucha al dar al botón con el número 1, el elemento seleccionado como 2 se escuchará con el botón 2 y el elemento que aparece como 3 sonará al seleccionarse el botón 3. Ya depende del experimentador los pares de estímulos que quiera comparar y en el orden que se quiera asignar los elementos con 1, 2 y 3.

Se puede variar el orden en la lista de las triadas dando a los botones “move up” y “move down”. Y para eliminar alguna triada de las que se han creado se da al botón “delete”. Cuando se hayan creado todas las triadas para las sesiones del test de escucha, se dará al botón OK. Volverá a aparecer otra vez la pantalla anterior (Figura 49) en la que se terminará de hacer la configuración del test de escucha.

RGT - edit triads (repertory grid technique)

choose elements from pool

element	ID	name
1	S1	1
2	S2	2
3	S3	3
4	S4	4
5	S5	5
6	S6	6
7	S7	7
8	S8	8
9	S9	9
10	S10	10
11	S11	11
12	S12	12

put element into selected triad below ...

... as entry 1

... as entry 2

... as entry 3

further options (will overwrite existing triad list)

import triad list from file

auto-generate a complete variation

triad list

triad	entry 1	entry 2	entry 3
1	(1 1)	(2 2)	(2 2)
2	(3 3)	(4 4)	(3 3)
3	(5 5)	(5 5)	(6 6)
4	(7 7)	(7 7)	(8 8)
5	(10 10)	(9 9)	(10 10)
6	(11 11)	(12 12)	(11 11)

move up

move down

add triad

add 5 triads

delete

OK

Cancel

Figura 51. Pantalla en la que se editan las triadas que posteriormente aparecerán en el test de escucha

- Opción “sequence setup”: En este apartado se podrá seleccionar el orden en el que se quiera que aparezcan luego las triadas. Si se quiere que aparezcan en orden aleatorio, se daría a la pestaña de “all triads in random order” (esta seleccionado por defecto). Si se quiere configurar para que las triadas aparezcan en un determinado orden, se seleccionará la pestaña “manual selection” y se dará al botón edit. Aparecerá una pantalla (Figura 52) nueva.

Aquí será importante lo comentado antes de las sesiones del test de escucha. Si se ha configurado que hay más de una sesión, en cada sesión se puede hacer una configuración distinta del orden de la secuencia de las triadas en cada sesión del test de escucha. Por ejemplo, si tenemos dos sesiones, podemos hacer que en la primera sesión aparezcan las triadas 1, 3, 5 y 7, y en la segunda sesión aparezcan las triadas 2, 4, 6, 8. Esto puede servir tanto para que en cada sesión aparezcan triadas distintas, como para que en cada una se le dé un orden distinto.

Para cada sesión podemos asignar los elementos de triada que queremos que aparezcan. Hay que poner el número de identificación de cada triada y, si queremos que salga en orden, ponerlos en orden. Para ver el identificador de cada triada podemos dar al botón “view element pool” y nos aparecerá la lista con todas las triadas. Cuando tengamos todos los identificadores de las triadas que queramos incluir en la sesión seleccionada, pulsaremos el botón “assign elements”.

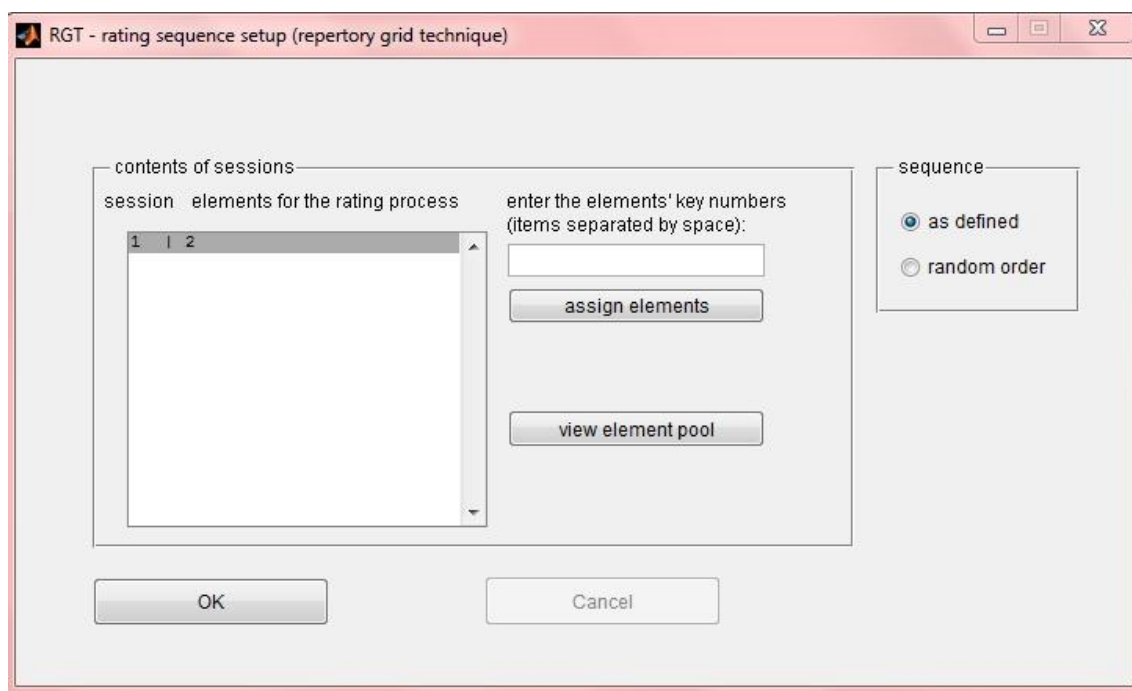


Figura 52. Pantalla de la selección del orden en la secuencia de triadas del test de escucha

En la lista de la izquierda, en el número de sesión que se haya seleccionado, aparecerá a su derecha los identificadores en orden de todas las triadas que se han elegido para que se utilicen en su sesión. La secuencia podrá aparecer en el test en el orden definido aleatorio o como se ha definido. Para ello, están las dos pestañas de la derecha, “random order” y “as defined” respectivamente. Cuando el proceso se haya realizado con todas las sesiones, se podrá dar al botón “OK” con el que volveremos a la pantalla (Figura 49).

- En la sección “maximum number of constructs per triad” se deja definido con el valor 1. Tiene que ver con cómo funcionaba antes WHISPER, ahora funciona diferente.
- En el apartado “initial subject instruction” se tiene que poner lo que se quiere que aparezca como cabecera de la prueba de escucha. Se puede recomendar que se escriba algo así como *Comparación entre las pistas auralizadas*. (Ver Figura 49).
- En el otro apartado, similar al anterior, llamado “short instruction” se añade si se quiere poner alguna instrucción. En caso general, no hará falta. Por lo tanto, se dejará en blanco (se elimina el insert text). (Ver Figura 49).
- Por último, en la sección dedicada a la parte 2 (“part II: rating procedure”) del texto no se va a configurar ya que tras desarrollarse la aplicación ya no se va a usar. En WHISPER sí que dividía el test, con este método, en dos partes (y había que configurarla). De la manera que se ha desarrollado el test no había que hacer nada. (Ver Figura 49).

Después de haber finalizado la configuración, habrá que dar al botón “OK” que volverá a la pantalla del menú de la configuración del test (Figura 48). Si se desea añadir otro procedimiento se volvería a hacer de la misma forma.

Si se está de acuerdo con la configuración realizada se aceptaría pulsando el botón “OK”. Así estaríamos de nuevo en la pantalla del menú principal del programa (Figura 45).

Así se daría por terminada la configuración. Si se desea volver a configurar o ejecutar el test hay que leer el siguiente apartado.

2 Abrir un test ya creado

Cuando un test ya se ha creado anteriormente, ya no hay que crearlo en un directorio determinado, sino que hay que abrir el test desde el directorio donde se crease. Para ello habrá que dar desde el menú principal (Figura 43) al botón “test series” y, posteriormente, a “open”. Aparecerá una pantalla (Figura 53) en la que habrá

que pulsar “browse” para seleccionar el directorio en la que se encuentra el test. Una vez seleccionado, se dará a “aceptar” y después a “open”. Así se habrá abierto el test seleccionado.

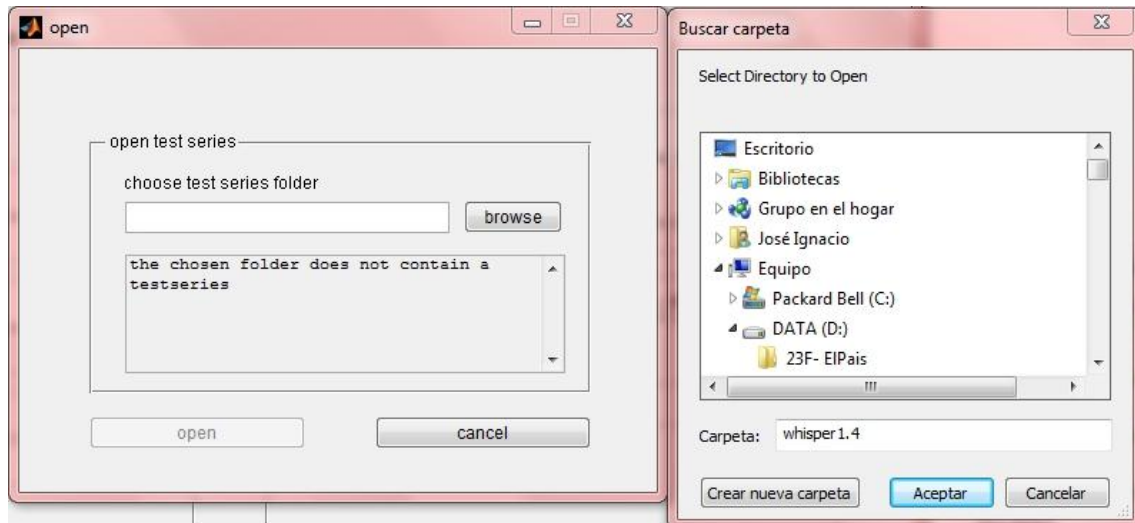


Figura 53. Pantalla para abrir el test ya creado

Si se desea editar y configurar este test se realizará de la misma forma que se ha comentado en el apartado 1.1. La diferencia que en vez de configurarlo desde el test que se ha creado, se hará desde este que ya, a priori, está configurado. Así que habrá que añadir o modificar cosas. Para ello hay que seleccionar el botón “edit”, en la que aparecen las tres cosas que se pueden modificar: “stimulus pool” (ver apartado 1.1.1), “session setup” (ver apartado 1.1.2) y “test sections” (ver apartado 1.1.3).

3 Ejecutar el test de escucha

Cuando ya se ha terminado la configuración y se desee parar a realizar ya el test de escucha se va a seguir los siguientes pasos (ya se tiene el test abierto).

En el apartado de (“next test run”, ver en Figura 43 Pantalla inicial de aplicación. Aparece cuando se ejecuta WHISPER) se tiene que introducir el id del sujeto (“subject id”) que va a realizar y seleccionar la sesión (“session”) que se quiera ejecutar. El id del sujeto puede ser el nombre del oyente, un identificador que se le haya asignado o lo que el experimentador considere oportuno. Hay que tener en cuenta que en los

resultados aparecerá este id y es lo que será identificativo y diferenciador con respecto a los resultados de los test de otros oyentes.

Cuando se haya rellenado estos dos parámetros de ejecución (“run parameters”) se dará al botón “start run” con el que se comenzará la ejecución del test de escucha.

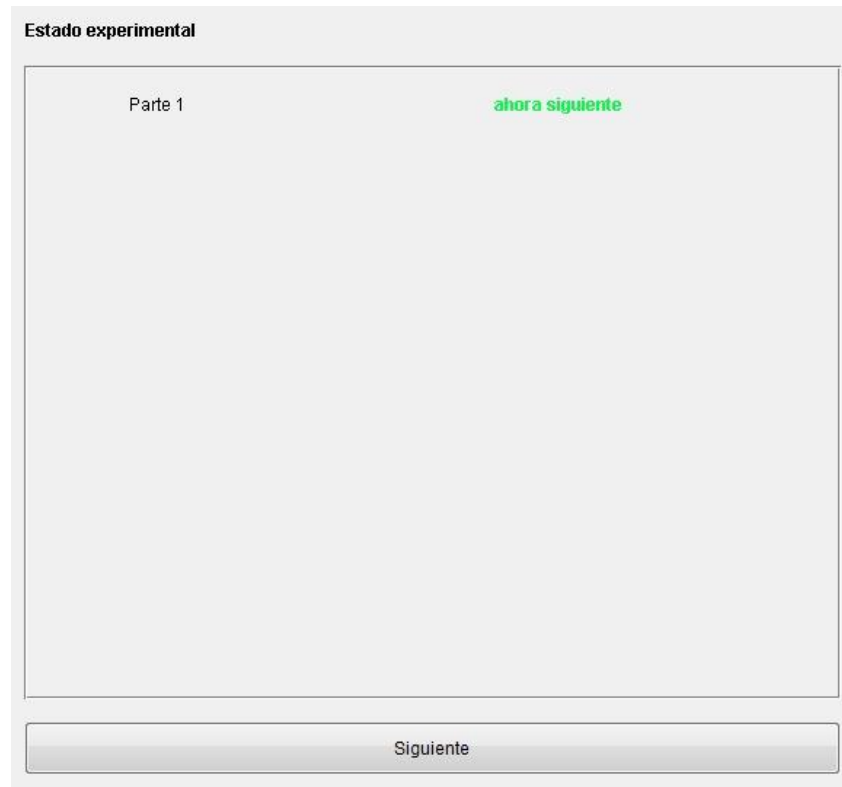


Figura 54. Pantalla del estado del test de escucha (antes y después de comenzar test de escucha)

Tras ejecutarse aparece una nueva pantalla en la que se ve el estado en el que se encuentra el test de escucha. Esta pantalla aparecerá antes de realizar el test de escucha y al finalizarlo. Como se ven en la Figura 54 se ve como la parte 1 del test es la siguiente, y debajo está el botón “Siguiente” que habrá que seleccionar para comenzar el test.

A partir de pasar esta pantalla ya sería a realizar por el oyente. El experimentador pasaría a un segundo plano y dejaría al oyente realizar el test. Al finalizar el test, aparecerá una pantalla en la que avise al oyente de que debe usar el programa el experimentador (ver pantalla superior de Figura 55). Habrá que pulsar el botón “Solo usar por el experimentador”. A continuación, volverá a aparecer la pantalla “Estado experimental” pero con otro contenido (ver pantalla inferior de Figura 55). Si

se pulsa el botón de “Solo usar por el experimentador, por favor” se volverá otra vez al menú de inicio del programa de test de escucha (Figura 45).



Figura 55. Pantallas que aparecen tras haber finalizado el test de escucha por parte del oyente

Se podrá volver a realizar el test a otro oyente, volver a configurar el test, salir del programa de test de escuchar o realizar otra cosa que se desee.

4 Resultados

Tras realizar los test de escucha se quedaran guardados los datos a tratar posteriormente en un archivo denominado *resultados-1.txt*. Dicho archivo se podrá abrir desde Excel. En cada fila de resultados aparece (por columnas):

- Nombre o identificador del sujeto (oyente) que se ha puesto al comiendo del test de escucha. En la misma columna aparecerá el número de sesión que se ha realizado en el test de escucha por ese sujeto.
- Resultado de comparación de la triada. Por ejemplo, "1=2".
- Si la pista 1 es igual que otra u otras (2 o/y 3) hay un 1. Sino un 0.
- Si la pista 2 es igual que otra u otras (1 o/y 3) hay un 1. Sino un 0.
- Si la pista 3 es igual que otra u otras (1 o/y 2) hay un 1. Sino un 0.
- Valor de lo diferente que se ha percibido entre las pistas que se consideran iguales y la que se considera diferente (en el caso que sea así). 0 en el caso de que sean las 3 iguales, 1 en el caso que la diferencia sea pequeña, 2 en el caso en el que la diferencia sea moderada, y 3 en el que la diferencia sea grande.
- Valor de 0 a 1 de reverberación de la pista diferente con respecto de las que sean iguales. Si se consideran iguales, el valor será de 0,5.
- Valor de 0 a 1 de proximidad de la pista diferente con respecto de las que sean iguales. Si se consideran iguales, el valor será de 0,5.
- Valor de 0 a 1 de inteligibilidad/claridad de la pista diferente con respecto de las que sean iguales. Si se consideran iguales, el valor será de 0,5.

Se puede ver el formato en la Figura 43.

nacho	-	3	2 = 3	0	1	1	2	0.38034	0.42735	0.57692
nacho	-	3	1 = 3	1	0	1	2	0.50855	0.40171	0.60256
nacho	-	3	1 = 2 = 3	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5
nacho	-	3	1 = 3	1	0	1	3	0.48718	0.7094	0.63675
nacho	-	3	2 = 3	0	1	1	2	0.78205	0.4359	0.5812
nacho	-	3	1 = 2	1	1	0	2	0.39316	0.61966	0.57265
nacho	-	3	1 = 3	1	0	1	1	0.34188	0.63675	0.5812
nacho	-	3	1 = 2	1	1	0	3	0.14103	0.6453	0.63248
nacho	-	3	1 = 2 = 3	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5

Figura 56. Ejemplo de resultados generados en el archivo resultados-1.txt

OYENTE

La pantalla (Figura 57) con la que comienza el test de escucha hacer una pequeña descripción de lo que se va a realizar en el test. Se va a realizar la comparación en triadas de diferentes audios que son las auralizaciones.

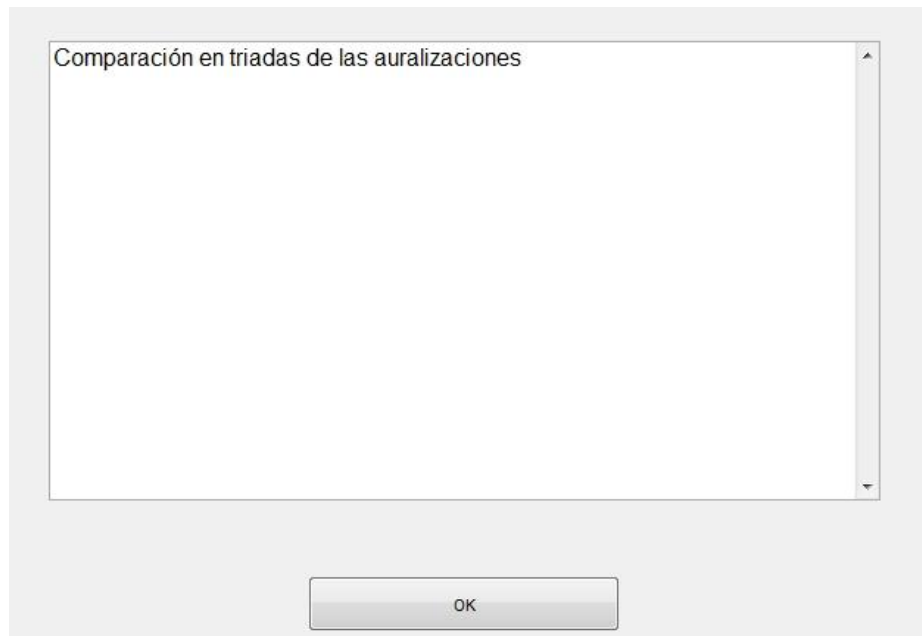


Figura 57. Pantalla inicial del test de escucha. Comentario con breve descripción sobre el test de escucha

Cuando se desee comenzar el test se pulsara el botón "OK" con el que se dará paso al comienzo del test de escucha. Para cualquier duda que se tenga se podrá consultar con el experimentador, aunque es recomendable haber realizado una lectura comprensiva de este documento, entendiendo todos los pasos y lo que se va a realizar a continuación.

Tras aceptar la pantalla anterior, comenzaría el test de escucha. Aparecerá la pantalla (Figura 58) del test, en la que aparece la primera parte del test, que se denomina "Comparación". En la parte superior tiene tres botones: 1, 2 y 3. Pulsando a estos botones se escucharán tres pistas de audio, una por cada botón. Se pueden escuchar todas las veces que se desee, pulsando el botón cada vez que se quiera volver a reproducir cada pista de audio.

Lo primero que hay que analizar es la comparación entre los tres audios. Hay que contestar que pistas de audio se escuchan igual. Puede que se perciban dos pistas de audio igual o las tres. Habrá que seleccionar la sentencia que cumpla lo que

se percibe. Por ejemplo si se escucha que la pista 1 y la 3 suenan igual y parecen las mismas, se seleccionaría “1 = 3”.

Parte 1

subject: ortiz
session: 1

Muestra 1 / 18

1 2 3

Comparación 1

¿Que muestras suenan igual?

1 = 2 = 3
1 = 2
1 = 3
2 = 3

Según su criterio, la diferencia entre las dos señales es:

☐ Pequeña ☐ Moderada ☐ Grande

OK, siguiente paso

Diferencia

Figura 58. Pantalla test de escucha con comparación

Después habría que seleccionar como de diferente es el audio que se ha percibido diferente con respecto las otras dos pistas de audio iguales. En el caso de que se percibieran las 3 pistas de audio igual y se seleccionase “1 = 2 = 3”, no se podría seleccionar como de diferente son las pistas. Sino que aparecería una sentencia en la que se dice “No hay diferencia entre pistas”. Si hay diferencia, esta podrá diferenciarse entre pequeña, moderada y grande. Cuando se hayan seleccionado tanto las pistas que se hayan percibido iguales como la diferencia que hay entre los audios, se pulsará el botón “OK, siguiente paso”.

En el caso de que se haya seleccionado anteriormente que las tres pistas suenan igual, no aparecerá en la pantalla más que un botón en el que se de paso a la

siguiente muestra (triada). Si se pulsa (botón “Siguiente muestra”) se pasará a la misma pantalla con otra triada y otras tres pistas de audio diferentes con los que habrá que realizar otra vez lo mismo.

Si, por el contrario, se ha seleccionado que un par de pistas son iguales y que una es distinta, en la parte inferior aparecerá la segunda parte del test, denominada “Diferencia”. La pantalla pasaría a verse como en la Figura 59.

Parte 1

subject: ortiz
session: 1

Muestra 1 / 18

1 2 3

Comparación 1

¿Que muestras suenan igual?

1 = 2 = 3
1 = 2
1 = 3
2 = 3

Según su criterio, la diferencia entre las dos señales (1 = 2) y 3 es:

☐ Pequeña ☒ Moderada ☐ Grande

OK, siguiente paso

Diferencia

1 = 2 3

¿Que pista describe mejor cada Propiedad?

Reverberacion

50 % 50 %

Proximidad

50 % 50 %

Inteligibilidad / Claridad

50 % 50 %

Siguiente muestra

Figura 59. Pantalla del test de escucha con comparación y diferencia

En esta parte aparecen dos botones. En el primer botón aparecerá las pistas que se han percibido iguales (en la Figura 59 las pistas 1 y 2) y en el segundo botón la que se ha distinguido de estas dos anteriores. Como en la primera parte, cada vez que se pulse un botón se reproducirá la pista de audio.

En los deslizadores de abajo habrá que responder a la pregunta que aparece entre los botones “¿Qué pista describe mejor cada Propiedad?”. Para ello aparecen tres parámetros, para valorar las pistas de audio, con un deslizador debajo de cada uno. En estos deslizadores se pretende que se valore en cuál de las dos pistas de audio se percibe más el parámetro correspondiente. Para ayudar a ello, a la derecha e izquierda del deslizador aparece el porcentaje que se le daría, con respecto a la propiedad acústica, a cada pista de audio (botón superior).

Por ejemplo, en cuanto a la “Reverberación”, si consideramos que la pista “1 = 2” es más reverberante que la pista “3”, con una proporción aproximadamente de 60-40, moveremos el deslizador hasta que estos valores aparezcan en los extremos de este. Así sería con cada una de las tres propiedades acústicas. Para ayudar a saber valorar estas propiedades, en el **ANEXO** aparecen sus definiciones y descripciones.

Cuando se haya valorado y finalizado esta segunda parte del test, se pulsará el botón “Siguiente muestra”. Aparecerá la misma pantalla con otra triada y otras tres pistas de audio diferentes con los que habrá que realizar otra vez lo mismo.

Así continuará el test de escucha hasta que se de paso a otra pantalla en la que se pide la intervención del experimentador. Si éste lo considera oportuno, habrá finalizado el test de escucha.

ANEXO

A continuación se definirán y describirán las tres propiedades acústica que se utilizan en el test de escucha, para que el oyente pueda entender mejor su significado y a que se refiere.

La **reverberación** es un fenómeno producido por la reflexión que consiste en una ligera permanencia del sonido una vez que la fuente original ha dejado de emitirlo. Es la suma total de las reflexiones del sonido que llegan al lugar del oyente en diferentes momentos del tiempo. Auditivamente se caracteriza por una prolongación, a modo de “cola sonora”, que se añade al sonido original.

Si este tiempo de retardo es menor que 0,1 s la persona no puede distinguir entre el eco y la fuente original, a esto se le llama reverberación.

La **proximidad** es el fenómeno que se asocia a la distancia a la que se percibe que esta la fuente sonora con respecto al oyente. Si se percibe más cercana, se dice que está más próxima. Aunque también esto va influenciado en que se siente más próximo un audio tenga mayor refuerzo de graves. Cuando la fuente sonora está próxima, como hay menos recorrido, el desfase es menor, pero, como contrapartida, se produce una menor diferencia en los cambios de presión sonora. El menor nivel de fluctuación de la presión sonora produce que la respuesta en frecuencia de la señal de salida se refuerce en la zona de los graves.

Se define la **inteligibilidad** del habla como una medición de la efectividad para comprender la voz hablada. La inteligibilidad es el conjunto de cualidades que debe tener un sonido para que su grado de compresión sea adecuado. Lógicamente este parámetro está relacionado con el grado de compresión de la palabra por los oyentes.

La **claridad** es la capacidad de discriminar adecuadamente las sílabas en una palabra o cada nota de un pasaje musical en un ambiente sonoro determinado. Este parámetro se utiliza para valorar el grado de separación que se puede apreciar entre los distintos sonidos de una composición musical.

REFERENCIAS

- [1] Simon Ciba, "WHISPER, User documentation", FG Audiokommunikation, TU Berlin (2009)